PHYSIKALISCHE ZEITSCHRIFT

No. 1. 1. Oktober 1902. 4. Jahrgang.

Redaktionsschluss für No. 2 am 8. Oktober 1902.

INHALT.

Originalmitteilungen:
G. W. Stewart, Die Temperaturen und Energieverteilungskurven im Spektrum leuchtender Flammen. S. 1.
K. Schaum und V. Bellach, Untersuchungen über die photographischen Prozesse. I. T. S. 4.
S. Sano, Notiz über Magnetisierung kubischer Krystalle. S. 8.
Mitteilungen aus dem physikalischen Institute der Universität Pisa:
No. 13: A. Maresca, Über die Energie, welche von der oszillierenden Entladung eines Kondensators in leeren Röhren entwickelt wird. S. 9.
F. Harms, Über eine Methode zur Untersuchung der Leitfähigkeit von Gasen. S. 11.

Vorträge und Reden:
P. Lebedew, Die physikalischen Ursachen der Abweichungen vom Newtonschen Gravitationsgesetze. S. 15.

Referate:
Physikalisches vom Petersburger Naturforscherkongress. S. 18.

Besprechungen:
F. Klein, Anwendung der Differential- und Integralrechnung auf Geometrie. S. 20.
O. Wiener, Die Erweiterung unserer Sinne. S. 22.
A. A. Michelson, Die Geschwindigkeit des Lichtes. S. 22.
V. Häcker u. G. Meyer, Die blaue Farbe der Vogelfedern. S. 23.
W. Scheffer, Das Mikroskop, seine Optik, Geschichte und Anwendung. S. 23.

Eingegangene Schriften. S. 24.
Tagesereignisse. S. 24.
Personalien. S. 24.
Gesuche. S. 24.

ORIGINALMITTEILUNGEN.

Die Temperaturen und Energieverteilungskurven im Spektrum leuchtender Flammen.

Von G. W. Stewart.

In einer Mitteilung an die Deutsche Phys. Ges.[1]) haben Lummer und Pringsheim eine Methode für die Messung der Temperaturen leuchtender Flammen angegeben, die auf die bekannte Beziehung zwischen der Wellenlänge des Maximums der Energiekurve und der Temperatur des schwarzen Körpers gegründet ist. Diese Beziehung ist $\lambda_m \cdot T = A$, einer Konstanten, wobei λ_m die Wellenlänge des Maximums und T die absolute Temperatur ist. Für den schwarzen Körper wurde die Konstante zu 2940, für blankes Platin zu ungefähr 2630 gefunden. Sie deuteten an, dass die Temperatur leuchtender Flammen mit dieser Formel berechnet werden könnte, und dass die Temperatur zwischen den Werten liegt, die man erhält, wenn man obige beide Werte für C in die Formel einsetzt.

Kürzlich[2]) suchte Verfasser dieser Abhandlung die Temperatur der Acetylenflamme auf diese Weise zu ermitteln. Für eine cylindrische Flamme erhielt er Werte zwischen 2890° C. und 2560°, was gewiss nicht richtig ist. Selbst die unkorrigierte Energiekurve gab zu hohe Werte.

In einer Mitteilung über eine einfache Methode zur Messung von Flammentemperaturen bemerkt Kurlbaum[3]), dass, während eine leuchtende Flamme von grosser Dicke in Bezug auf Strahlung sich wie ein schwarzer Körper verhält, wir von einer Kerzenflamme z. B. erwarten können, dass sie wie ein dünner Kohlestreifen von derselben Temperatur ausstrahlt. Er hat auch gezeigt[1]), dass ein dünner Überzug von Lampenschwarz für lange Wellen transparenter als für kurze ist, d. h., dass Absorption und Ausstrahlung mit der Abnahme der Wellenlänge zunimmt. Daher wäre z. B. in den Energieverteilungskurven des Spektrums der Acetylenflamme das Maximum weiter gegen die kurzen Wellenlängen zu gelegen, als im Falle eines schwarzen Körpers derselben Temperatur. Es wäre dann zu erwarten, dass die Resultate, die man durch Anwendung der Formel $\lambda_m\ T = A$ erhält, viel zu hohe Werte für die Temperaturen geben.

(Verfasser beschreibt nun Kurlbaums Methode, giebt die Kritik von Lummer und Pringsheim[2]) wieder, sowie Kurlbaums Replik[3]) und fährt dann fort:)

Die vorliegende Arbeit zeigt, dass Lummer und Pringsheims Wert für die Strahlung der Kerzenflamme viel zu niedrig ist, dass aber ihre Kritik von Kurlbaums Methode von Wichtigkeit ist; ferner dass Kurlbaums Behauptung, dass die Kohleteilchen in einer leuchtenden Flamme selektivere Strahlung zeigen, als blankes Platin, richtig ist; sowie dass Lummer und Pringsheims Wert für die Wellenlänge des Maximums der Energiekurve für leuchtende Flammen unrichtig ist.

Bekanntlich variiert die horizontale Lichtverteilung einer gewöhnlichen Leuchtgasflamme nur um einige Prozente, d. h. die Flamme ist praktisch für sichtbare Strahlen transparent.

1) Lummer und Pringsheim, Verh. d. Deutsch. Phys. Ges. 1, 214, 1899.
2) Phys. Review, 13, 257, 1901.
3) Diese Zeitschrift 3, 187, 1902.

1) Wied. Ann. 67, 846, 1899.
2) Diese Zeitschrift 3, 233, 1902.
3) Diese Zeitschrift 3, 332, 1902.

Nach Kurlbaum[1]) ist im Infraroten die Transparenz sogar grösser. Obgleich diese Versuche mit Kohle bei gewöhnlichen Temperaturen gemacht wurden, so genügt doch die von Königsberger[2]) beobachtete Verschiebung der Maximalabsorption gegen die Seite der langen Wellen bei steigender Temperatur nicht, um die Transparenz im sichtbaren Spektrum grösser zu machen, als im Ultravioletten.

Aus Kirchhoffs Gesetz wissen wir dazu, dass die Maximalabsorption für Kohle bei der Temperatur der Acetylenflamme bei weniger als 1,4 μ liegt; denn diese Wellenlänge (hier hat die Energiekurve der Acetylenflamme ein Maximum) muss zwischen der Wellenlänge der Maximalabsorption der Flamme und der Wellenlänge der Maximalemission des schwarzen Körpers bei dieser Temperatur liegen. Nimmt man mit Nichols[3]) diese Temperatur zu 1900^0 an, dann ist diese letztere Wellenlänge = 1,35 μ.

Dies scheint darauf hinzuweisen, dass die leuchtenden Teilchen der Flamme (die ultravioletten ausgenommen) irgend eine Wellenlänge nur in sehr geringem Masse absorbieren, und dass die Lage des Maximums in der Energieverteilungskurve leuchtender Flammen fast gänzlich von der Temperatur abhängt, denn der Kohlegehalt einer gewöhnlichen Flamme ist zu klein, als dass er durch selektive Absorption dieses Maximum deutlich beeinflussen könnte.

Stimmen diese Voraussetzungen zu, dann lässt sich die Formel $\lambda_m T = A$ auch auf die leuchtenden Flammen anwenden, vorausgesetzt, dass die Konstante A für eine Flamme von bekannter Temperatur bestimmt ist.

Die Absorption der Acetylenflamme.

Am einen Ende einer Photometerbank von ungefähr 6 m Länge wurden zwei Brenner so montiert, dass dieselben um eine zwischen den beiden befindliche Achse drehbar waren. Sie gaben cylindrische Flammen von 3,5 cm Höhe und ungefähr 3,5 mm Maximaldurchmesser. Die gegenseitige Entfernung der Brenner war 3 cm. Am anderen Ende der Bank befand sich ein flachstrahliger Napheybrenner, dessen Flamme an Intensität der Summe der beiden anderen gleichkam. Abgelesen wurde mit einem Bunsenphotometer. Die Intensität der beiden cylindrischen Flammen mit der flachen wurde verglichen, wenn 1. eine cylindrische Flamme hinter der anderen, 2. die beiden nebeneinander und 3. Fall 1 umgekehrt war. Die Adjustierung musste sehr sorgfältig geschehen, da schon ein sehr kleiner Fehler hierin einen sehr grossen im Resultat nach sich ziehen würde. Es ergab sich eine mittlere Absorption von 3,6 Proz., wobei noch Fehlerquellen, wie die Reflexion des Lichtes der einen Flamme von den Kohleteilchen und den heissen Gasen der anderen und vice versa, die anscheinende Absorption erhöhen. Für unseren Zweck genügt es zu wissen, dass die Absorption nicht über 3—4 Proz. hinausgeht.

1) Wied. Ann. **67**, 846, 1899.
2) Ann. d. Phys. **4**, 796, 1901.
3) Phys. Rev. **10**, 234, 1900.

Da die Acetylenflamme reich an Kohle ist, so sollte die gefundene geringe Absorption darauf hindeuten, dass die Formel $\lambda_m T = A$ auf Flammen anwendbar sei, in denen die Strahlungsquelle glühende Kohle ist. Natürlich zeigen die Flammenspektra Emissionsbanden von H_2O und CO_2, deren Wellenlängen aber glücklicherweise alle grösser als 1,4 μ sind, und die daher, ausgenommen in Flammen, deren Temperatur bedeutend niedriger als die Gasflamme ist, wie z. B. die Kerzenflamme, auf die Lage des Maximums in den Energieverteilungskurven keinen Einfluss haben.

Die Anwendung von $\lambda_m T = A$ auf leuchtende Flammen.

Um zu prüfen, ob es richtig ist, $\lambda_m T = A$ auf leuchtende Flammen anzuwenden, werde ich die Energieverteilungskurven der Kerzen- und Leuchtgasflamme betrachten, indem ich A aus den früheren Versuchen mit Acetylen entnehme. Die Kurven wurden mit dem nämlichen Apparat[1]) wie für die Acetylenflamme gefunden. Die Adjustierung erfolgte mit Hilfe von CO-Banden bei 4,4 μ.

Acetylenflamme: Fig. 1 giebt aus der früheren Arbeit einen Teil der beobachteten Kurve wieder. Kurve 1 ist die beobachtete, Kurve 2 die mit Hilfe von Paschens Gleichung

1) Phys. Rev. **13**, 257, 1901.

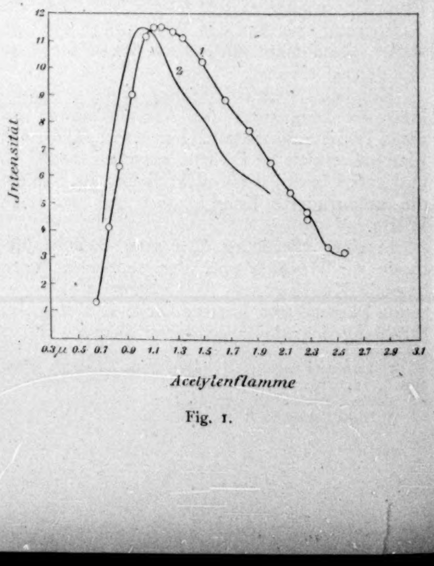


Fig. 1.

$$af(x) = F(x) - \frac{1}{6} F_1(x)$$

gewonnene korrigierte; hierbei ist a die Spaltbreite des Spektrometers und Radiometers in Wellenlängen, $f(x)$ die Intensität der Wellenlänge x auf der korrigierten, $F(x)$ auf der unkorrigierten Kurve und

$$F_1(x) = F(x + a) - F(x - a) - F(x).$$

In einer späteren Arbeit hoffe ich, den experimentellen Beweis für die Richtigkeit von Paschens Methode im Gegensatz zu der, die ich in einer früheren Arbeit anwandte, zu bringen.

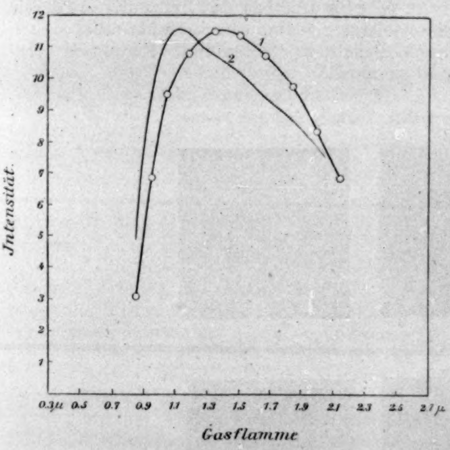


Fig. 2.

Gasflamme: Fig. 2. Kurve 2 zeigt die Energieverteilungskurve einer cylindrischen Leuchtgasflamme. Kurve 1 ist die beobachtete. Für die Genauigkeit der Messungen zeugt das Auftreten der H_2O-Banden bei 1,46 μ und 1,90 μ in der korrigierten Kurve. Das Maximum liegt bei 1,13 μ.

Kerzenflamme: Hier ist es wegen des grossen Wechsels der Intensität und der Lage der Flamme vor dem Spalt schwierig, die Kurve genau zu erhalten. Fig. 3 zeigt drei beobachtete Kurven. Korrigiert ergeben sie ein mittleres Maximum von ungefähr 1,4 μ, dessen Lage durch die H_2O-Bande bei 1,46 μ beeinflusst wird. Zieht man das in Betracht, dann erhält man für das allein der glühenden Kohle zuzuschreibende Maximum 1,25 μ. Lummer und Pringsheim geben hierfür 1,5 μ, d. h. ungefähr den Wert meiner unkorrigierten Kurven.

Temperatur berechnet aus $\lambda_m\, T = A$: Um A für leuchtende Flammen zu finden, setze ich die Temperatur der Acetylenflamme $= 1900^0$ (nach Nichols) und die Wellenlänge ihres Maximums $= 1,05\ \mu$. Daraus wird $A =$ ungefähr 2282. Durch Einsetzen der Maxima 1,13 μ und 1,25 für Gas- resp. Kerzenflamme ergiebt sich für erstere $T = 2020^0$ (abs.) oder ungefähr 1750^0 C. und für letztere $T = 1825^0$ oder 1550^0C. Im Vergleich mit Nichols' Resultaten ergiebt sich die mittlere Temperatur vor dem Spalt für Kerzenflamme zu ungefähr 1630^0 C. Kurlbaums Wert von 1430^0 ist deshalb unrichtig, da er die Reflexion im Vergleich mit der Absorption vernachlässigte und Lummer und Pringsheims Wert für die Transmission der Kerzenflamme zu 80 Proz. annahm, während ich dafür bei Acetylen 96 Proz. fand, und es ist wahrscheinlich, dass dieser Wert auch für die Kerzenflamme gilt. Da auch in Berücksichtigung gezogen werden muss, dass die Flamme als Zerstreuungslinse wirkt, so erhält man einen Wert der scheinbaren Absorption von 2—3 Proz., d. h., all dies ergiebt Kurlbaums Wert um 40—120^0 zu niedrig.

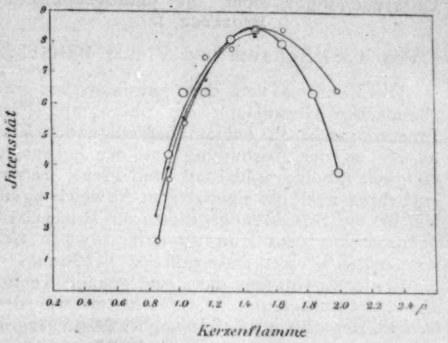


Fig. 3.

Hätte Nichols die Gasflamme auch im Centrum des leuchtenden Teils anstatt am Rande gemessen, so hätte er jedenfalls einen um 15—20^0 geringeren Wert gefunden. Mein Wert von 1750^0 ist also in guter Übereinstimmung mit Nichols' Wert von 1780^0 und der Wert 1550^0 für die Kerzenflamme fast so genau wie die Beobachtungsmethode und die Bestimmung des Maximums der Energieverteilungskurve es erwarten lässt.

Die obigen Versuche zeigen also, dass die Änderung in der Wellenlänge des Maximums der Energieverteilungskurve leuchtender Flammen mit der Formel $\lambda_m\, T = A$ übereinstimmt, wenn A ungefähr gleich 2282 ist.

Physik. Institut d. Cornell-Universität, Juli 1902.

(Aus dem Englischen übersetzt v. S. Guggenheimer, München.)

(Eingegangen 21. August 1902.)

Untersuchungen über die photographischen Prozesse, I.

Von Karl Schaum und Victor Bellach.

Die Kenntnis von den physikalischen und chemischen Grundlagen der photographischen Prozesse steht in keinem befriedigenden Verhältnis zu der Ausbildung und der Leistungsfähigkeit photographischer Methoden. Ferner entbehren auch die eigenartigen Abweichungen, welche die Schwärzungsgesetze für Bromsilbergelatine von dem Bunsen-Roscoëschen Gesetz zeigen[1]), einer einwandfreien Erklärung.

In der Erwartung, dass eine genaue Kenntnis der Struktur des unentwickelten wie des fertigen Negativs zur Aufklärung wichtiger Fragen beitragen werde, haben wir an der Hand mikroskopischer Untersuchungen die Entstehungs- und Entwicklungsgeschichte der Bromsilbergelatine verfolgt.[2])

Die Struktur des unentwickelten Negativs.

Zunächst sind wir der Frage näher getreten, welche Veränderungen das Bromsilber der Emulsion während des die Empfindlichkeit in hohem Masse steigernden Reifungsprozesses erleidet.

Seitdem der kürzlich verstorbene hochverdiente Forscher R. L. Maddox[1]) die Herstellung der Gelatinetrockenplatten gelehrt hat, sind zahlreiche Methoden der Reifung beschrieben worden. Auf die Technik der Verfahren kann an dieser Stelle nicht eingegangen werden; der Chemismus des Reifungsprozesses ist wahrscheinlich in allen Fällen der nämliche; als wesentliche Vorgänge kommen, soweit unsere Kenntnisse reichen, folgende Veränderungen in Betracht:

1. Die Kornvergrösserung der Bromsilberpartikel, welche eine Erhöhung der Lichtabsorption und somit eine Steigerung der Lichtempfindlichkeit bedingt.

2. Eine Reduktion des Bromsilbers durch die Gelatine, deren Endprodukt die später durch Belichtung eintretende Reduktion verstärken muss.[2])

Fig. 1 nach dem Mischen.

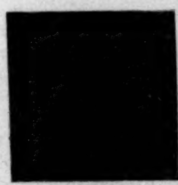


Fig. 3 Anfangsstadium.

Fig. 5 nach dem Mischen.

Székely-Emulsion. Apollo-Emulsion. Edersche Emulsion.

Fig. 2 nach 2st. Reifen.

Fig. 4. Gereifte Emulsion.

Fig. 6 nach 1/4 st. Reifen.

Im folgenden soll zunächst der erste Punkt, die Kornvergrösserung, besprochen werden. Diese Kornvergrösserung hat ihre Ursache in der höheren Löslichkeit kleinerer Partikel im Vergleich zu grösseren; die nach dem Mischen wegen der äusserst feinen Verteilung des Bromsilbers nur schwache Opaleszenz zeigende Emulsion nimmt infolge der Kornvergrösserung mit der Zeit an Undurchsichtigkeit ganz erheblich zu, und es ist ersichtlich, dass höhere Temperatur sowie Zusätze von Elektrolyten, welche

1) Vgl. E. Englisch, Das Schwärzungsgesetz für Bromsilbergelatine, Halle a. S., W. Knapp, 1901.

2) Die ältere Litteratur über Negativstruktur etc. wird in der demnächst erscheinenden Dissertation des Herrn V. Bellach zusammengestellt und diskutiert. In der vorliegenden Abhandlung können mit Rücksicht auf den zur Verfügung stehenden Raum nur die wichtigsten Litteraturnachweise gegeben werden.

1) Brit. Journ. of Phot. 18, 422, 1871. Phot. Corresp. 11, 124, 1874.

2) Zur Richtigstellung einer früheren Angabe (diese Zeitschrift 2, 537, 1901) sei bemerkt, dass sich die Empfindlichkeit von Bromsilbergelatine durch Behandeln mit Oxydationsmitteln in der That wesentlich herabsetzen lässt.

die Löslichkeit des Bromsilbers erhöhen, den geschilderten Vorgang beschleunigen müssen.

Um eine Vorstellung von dem Betrag der Kornvergrösserung zu erhalten, haben wir Emulsionsproben aus verschiedenen Reifungsstadien mikroskopisch untersucht.[1]) Die Präparate wurden in der Weise hergestellt, dass die (eventuell unter Wasserzusatz) bei gelinder Wärme geschmolzenen Emulsionsproben auf einem angewärmten Objektträger durch vorsichtiges Aufdrücken eines Deckglases in sehr geringer Schichtdicke ausgebreitet wurden.

Die Frage, ob lange Belichtung das Aussehen des Bromsilberkornes wesentlich beeinträchtige, konnten wir nach Vergleichen sehr lang belichteter und völlig unbelichteter Proben bei Rotlicht unter dem Mikroskop verneinen.[2])

Fig. 1 zeigt das Korn einer selbstbereiteten Székely-Emulsion[3]) direkt nach dem Mischen, Fig. 2 dasselbe nach zweistündigem Reifen. Fig. 3 giebt ein Bild der Apollo-Emulsion im Anfangsstadium, Fig. 4 das Korn der gereiften Rapid-Emulsion; Fig. 5 und 6 geben ein Bild von der Ederschen Silberoxydammoniak-Emulsion[4]) nach dem Mischen und nach $^1/_4$ stündigem Reifen.

Die Aufnahmen erfolgten mit einem mikrophotographischen Apparat (horizontaler Anordnung) der Firma Zeiss unter Anwendung der homogenen Immersion (Äquivalent-Brennweite 2,0 mm) Projektionsokular Nr. 4. Als Lichtquelle diente Auerlicht. Die Vergrösserung war 1200fach linear. Bei Anwendung kleiner Aperturen, wie sie zu obigen Aufnahmen verwendet worden sind, erhält man grössere Schärfe, aber stark sichtbare Beugungsringe; grössere Aperturen geben wenig scharfe Bilder. Aus Fig. 2 lässt sich ersehen, dass die Kornform in höheren Reifungsstadien nicht ausschliesslich eine kugelige ist, sondern dass auch polygonale, meist dreieckige Gebilde mit abgerundeten Ecken auftreten. Ob diese Erscheinung auf einem teilweisen Krystallinischwerden des zunächst amorphen Bromsilbers oder auf einer eigentümlichen Zusammenlagerung mehrerer Körner beruht, haben wir noch nicht mit Sicherheit feststellen können. Alle diese Beobachtungen haben wir auch an Schleussnerschen Emulsionen gemacht.

Die Flächenausdehnung der Bromsilberkörner bestimmten wir durch Umreissen ihres Bildes in einem mikroskopischen Zeichenapparat bei grösserer Apertur auf Millimeterpapier und Ausmessen der Bildfläche. Auf diese Weise stellten wir fest, dass die mittlere Korngrösse einer Székely-Emulsion

nach dem Mischen .	0,72 μ^2
nach 2stünd. Reifen .	5,9 μ^2

betrug.

Eine nach Eder hergestellte Silberoxydammoniak-Emulsion zeigte die Grössenänderung 1,2 bis 8,1 μ^2.

Drei Proben der Apollo-Emulsion ergaben folgende Werte:

sehr unempfindlich .	1,5 μ^2
unempfindlich . . .	3,3 μ^2
hochempfindlich . .	9,0 μ^2.

Alle angegebenen Zahlen sind Mittelwerte aus mindestens 15 Messungen. Die Anfangswerte der Flächenausdehnung werden natürlich sehr davon abhängen, wie schnell nach dem Mischen die Messung vorgenommen wird.

Während des Reifungsvorganges findet also eine planare Vergrösserung des Bromsilberkornes um das 7—8fache statt.

Dieses Ergebnis stimmt mit den älteren Beobachtungen von Eder[1]), welcher eine lineare Kornvergrösserung von 0,0008 bis 0,003 mm während fünftägigen Reifens beobachtete, gut überein.

Es sei noch bemerkt, dass beim Austrocknen der Schicht eine Kornverkleinerung des Bromsilbers stattzufinden scheint (Abgabe des im amorphen Bromsilber gelösten Wassers).

Die Empfindlichkeit der photographischen Schicht wird nun nicht nur von der Korngrösse und dem eventuellen Betrag der Reduktion abhängig sein, sondern auch von der Schichtdicke sowie von dem Verhältnis der Menge des Bromsilbers zur Gelatine. Um letzteren Punkt einstweilen kurz zu berühren, sei angeführt, dass nach unseren Messungen die Zahl der Bromsilberkörner in der obersten Schicht des Negativs im Mittel 27×10^4 pro 1 mm^2 beträgt (gezählt bei 860facher Vergrösserung).

Messung der Schichtdicke unentwickelter Negative.

Die Dickenmessung der Negativschicht erfolgte mit dem Zeiss-Abbeschen Dickenmesser. Kleine Plattenstücke wurden auf der Rückseite sorgfältig gesäubert und sodann mit einem Tropfen Wasser auf der justierten Glasplatte des Apparates befestigt. Nach der ersten Einstellung des Fühlhebels wurde an der Berührungsstelle die Schicht mit einem scharfen Messer von dem Glase abgekratzt. Bei dieser Operation darf sich das Plattenstück nicht im geringsten verschieben, da die Glasplatten durchaus nicht planparallel sind.

1) Den Firmen Unger & Hoffmann (Dresden) sowie Schleussner (Frankfurt) sind wir für die liebenswürdige Überlassung von Emulsionsproben zu grossem Dank verpflichtet.

2) Vgl. auch Kaiserling, Phot. Mitt. 1898. Heft 1 und 2.

3) Vgl. J. Schnauss, Rezept. Taschenbuch f. Phot. 1883, 5.

4) Eder, Handbuch 3, 208, 1890.

1) Nach Eders Handbuch 3, Heft 1, 56, 101, 1902.

In der folgenden Tabelle sind die Mittelwerte der Schichtdicke (aus 30 und mehr Einzelmessungen an Stücken verschiedener Platten in einem trocknen, gleichmässig temperierten Raum ermittelt) für eine grössere Anzahl von Negativsorten ausgeführt:

Ertee Diapositiv	0,0138
Apollo photomechanisch	0,0145
Apollo Diapositiv	0,0163
Sachs Trockenplatte	0,0176
Schippang u. Wehenkel	0,0179
Schleussner Moment	0,0196
Lomberg Trockenplatte	0,0198
Perutz Trockenplatte	0,0211
Schleussner Normal	0,0225
Anilin-Aktien	0,0245
Apollo Rapid	0,0266
Steinschneider	0,0273
Hertzka	0,0281
Monopol	0,0311
Westendorp u. Wehner	0,0339
Isolar orthochromat.	0,0467
Perutz orthochromat.	0,0522

Die Dicke der Bromsilbergelatine-Schicht ist also verschieden, je nach dem Zwecke, für welchen die Platte dienen soll; doch existieren auch Unterschiede bei verschiedenen Fabrikaten, welche für ein und dieselbe Kategorie von Aufnahmen bestimmt sind.

Die Struktur des entwickelten und fixierten Negativs.

Die Undurchsichtigkeit (Opazität), d. h. das Verhältnis des auffallenden Lichtes zum durchgelassenen Licht, also die Grösse $U = \frac{La}{Ld}$, wird wesentlich durch die Zahl, die Grösse und die Verteilung der Silberkörner in der Volumeinheit der Schicht bedingt. Mit „Volumeinheit" ist ein Prisma bezeichnet, dessen Höhe gleich der Schichtdicke und dessen Basis gleich einer bestimmten Flächeneinheit ist. Wenn auch schon zahlreiche Beschreibungen der Gestalt, der Grösse, der Verteilung etc. der Silberpartikel gegeben worden sind, so hat es doch an einer systematischen Untersuchung dieser Verhältnisse bisher gefehlt.

Zunächst war festzustellen, ob die Grösse der Silberkörner völlig oder doch innerhalb weiter Grenzen konstant ist, wie von vielen Forschern angegeben wird. Ferner war zu untersuchen, in welcher Weise die Silberkornzahl in der Flächen- sowie in der Volumeinheit der Schicht abhängig ist von der Belichtungs- und der Entwicklungsdauer.

Für die folgenden Untersuchungen wurden, falls nicht anders angegeben, Schleussnersche Normalplatten angewandt. Die Belichtung der untersuchten Plattenstücke erfolgte mit der deutschen Vereins-Paraffinkerze stets unter denselben Versuchsbedingungen. Entwickelt wurde mit einem Eisenoxalat-Entwickler konstanter Zusammensetzung.[1])

Wegen der nicht völlig gleichmässigen Beschaffenheit von Platten ein und derselben Marke, sowie wegen der Temperaturschwankungen im Entwicklungsraum etc. sind nur die Versuchsergebnisse jeder einzelnen Beobachtungsreihe unter sich vergleichbar.

Zählungen der Silberkörner in der Flächeneinheit der Schicht.

Untersucht man ein fertiges Negativstück unter dem Mikroskop, so beobachtet man beim Senken des Tubus zunächst eine kornarme Schicht mit kleinen Partikeln; dieselbe Erscheinung zeigt sich auch beim unentwickelten Negativ und ist wahrscheinlich durch Sedimentation verursacht. Beim weiteren Senken des Tubus beobachtet man am Negativ eine sehr kornreiche Schicht mit grossen Silberpartikeln, sodann folgen Schichten, welche weniger und kleinere Körner enthalten.

Zur Zählung in der Flächeneinheit wurde die oberste kornreiche Schicht der mit Eisenoxalat hervorgerufenen, neutral fixierten Plattenstücke bei 141 facher Vergrösserung photographiert. Die Celloidin- oder Protalbin-Kopien der Negative wurden unter einem in cm^2 geteilten Raster nochmals belichtet (vgl. Fig. 7). Innerhalb der einzelnen Quadrate wurden die Silberkörner gezählt, wobei jedes gezählte Korn, um Irrtümer zu vermeiden, mit einer Präpariernadel durchstochen wurde. Die sich für 1 mm^2 der Negativschicht ergebenden Werte sind in den Tabellen I und II zusammengestellt. Die angegebenen Zahlen sind die Mittelwerte aus je 10 in verschiedenen Quadraten ausgeführten Zählungen.

Tabelle I.

Verschiedene Belichtungsdauer		Konstante Entwicklungszeit (110 Sek.)
Belichtet aus Belichtungsdauer	4 m Kornzahl	6 m Kornzahl
0,5 Sek.	247×10^2	310×10^2
1	292	300
2	262	300
3	292	294
4	282	276
5	278	320
6	292	290
7	306	270
8	298	282
10	322	304

1) I: 100 g neutrales Kaliumoxalat, 300 cm^3 destill. Wasser; II: 100 g Ferrosulfat, 300 cm^3 destill. Wasser; 3 Teile I + 3 Teile II ohne Bromkalium. (Nach Precht, Archiv für wissensch. Phot. 1, 58, 1899. Schellen, Diss. Rostock 1898).

Tabelle II.

Verschiedene Entwicklungsdauer		Konstante Belichtungszeit (1 Sek.)
Belichtet aus Entwicklungsdauer	3 m Kornzahl	4 m Kornzahl
30 Sek.	255×10^2	266×10^2
40	293	258
50	280	294
60	308	294
70	310	282
80	354	—
90	349	296

Die Zahl der Silberkörner in der Flächeneinheit der Negativschicht ist also innerhalb weiter Grenzen unabhängig von der Belichtungszeit und der Entwicklungsdauer. Die Zunahme in Tab. II ist wohl nur zufällig. Die Zahlenwerte gelten natürlich nur für 141fache Vergrösserung. Die angewandten Entwicklungszeiten genügen demnach, um diejenigen Bromsilberkörner, welche durch den zur Einwirkung gelangten photochemischen Affekt entwicklungsfähig gemacht worden sind, bis zur mikroskopischen Sichtbarkeit bei 141facher Vergrösserung hervorzurufen. Die Undurchsichtigkeiten der untersuchten Plattenstücke lagen zwischen 1,28 und 1,64 (gemessen mit dem Glanschen Spektrophotometer). Negative mit grösseren Opazitäten erwiesen sich wegen der Verwachsung der Silberkörner nicht geeignet für Kornzählungen etc. (Fig. 8).

Fig. 7

Fig. 8.

Über das Verhältnis zwischen der Kornzahl im fertigen Negativ und der Zahl der Bromsilberkörner in der unentwickelten Schicht wird später berichtet werden.

Zählungen der Silberkörner in der Volumeinheit der Schicht.

Mit Hilfe eines Okularnetzmikrometers wurde (bei 870facher Vergrösserung) die Zahl der Silberpartikel in der Volumeinheit der Schicht mit der Basis = 1 mm² bestimmt. Die Ergebnisse sind in den Tabellen III und IV niedergelegt.

Tabelle III.

Verschiedene Belichtungsdauer		Konstante Entwicklungszeit (110 Sek.)
Belichtet aus Belichtungsdauer	4 m Kornzahl	6 m Kornzahl
0,5	193×10^3	198×10^3
1	222	197
2	205	241
3	221	221
4	221	221
5	223	242
6	220	216
7	196	213
8	230	244
10	209	238

Tabelle IV.

Verschiedene Entwicklungsdauer		Konstante Belichtungszeit (1 Sek.)
Belichtet aus Entwicklungsdauer	3 m Kornzahl	4 m Kornzahl
30	106×10^3	113×10^3
40	143	172
50	151	168
60	172	183
70	158	216
80	182	245
90	232	247
100	227	219

Bei konstanter Entwicklungszeit ist also die Kornzahl auch in der Volumeinheit konstant, während sie bei variabler Entwicklungsdauer unverkennbar mit dieser wächst. Mit den von Abegg[1]) ermittelten Silberkornzahlen, welche zwischen 160×10^3 und 602×10^3 liegen, stimmen unsere Zählungen überein.

Es mag an dieser Stelle besonders betont werden, dass jedes Silberpartikelchen des Negativs, wie unsere Versuche aufs neue beweisen, einem an der nämlichen Stelle in der unentwickelten Schicht vorhanden gewesenen Bromsilberkorn entspricht. Eine Abscheidung von metallischem Silber beim Entwicklungsvorgang findet also bei normaler Entwicklungsdauer nur an Bromsilberkörnern, und zwar nur an solchen statt, welche durch den photochemischen Affekt entwicklungsfähig gemacht worden sind. Eine freiwillige Abscheidung von Silberkörnern im Bindemittel findet bei der Entwicklung von Bromsilbergelatine nicht statt.

1) Archiv für wissensch. Phot. 1, 109, 1899.

Marburg a. L., Physikalisches Institut.

(Eingegangen 9. September 1902.)

Notiz über Magnetisierung kubischer Krystalle.

Von S. Sano.[1])

P. Weiss[2]) hat experimentell bewiesen, dass die Magnetisierung von Magnetitkrystallen von der Richtung der Magnetkraft abhängt; Voigt[3]) und Wallerant[4]) haben dann auf Grund von Weiss' experimentellen Resultaten gewisse theoretische Diskussionen veröffentlicht. Diese Theorien lassen sich eigentlich nur auf Substanzen ohne magnetische Hysterese anwenden. In vorliegender Arbeit wird gleichfalls angenommen, dass diese Wirkung zu vernachlässigen ist.

Unter erwähnter Voraussetzung können wir setzen:

$$A\,d\alpha + B\,d\beta + C\,d\gamma = d\varphi,$$

wo A, B, C und α, β, γ die Komponenten bezw. der Magnetisierungsintensität und der Magnetkraft sind.

Man kann leicht zeigen, dass in Krystallen, die zum Holohedrismus, enantiomorphen Hemihedrismus und hemimorphen Hemihedrismus gehören, φ nur den Bedingungen:

$$\varphi(\alpha, \beta, \gamma) = \varphi(\alpha, -\gamma, \beta) = \varphi(\gamma, \beta, -\alpha)$$

zu genügen hat, wenn die Koordinaten den Quaternärachsen parallel angenommen sind. Diese Gleichungen ergeben:

$$\varphi(\alpha,\beta,\gamma) = M_1 + \alpha\beta\gamma(\beta^2-\gamma^2)(\gamma^2-\alpha^2)(\alpha^2-\beta^2)M_2,$$

wo M_1 und M_2 symmetrische Funktionen von α^2, β^2, γ^2 sind. Wir können daher schreiben:

$$\begin{aligned}\varphi(\alpha,\beta,\gamma) &= f_1(\alpha_2 + \beta^2 + \gamma^2, \beta^2\gamma^2 + \gamma^2\alpha^2 + \alpha^2\beta^2, \\ &\quad \alpha^2\beta^2\gamma^2) + \alpha\beta\gamma(\beta^2-\gamma^2)(\gamma^2-\alpha^2)(\alpha^2 \\ &\quad -\beta^2) f_2(\alpha^2+\beta^2+\gamma^2, \beta^2\gamma^2+\gamma^2\alpha^2+ \\ &\quad \alpha^2\beta^2, \alpha^2\beta^2\gamma^2) \\ &= F_1(\alpha^2+\beta^2+\gamma^2, \alpha^4+\beta^4+\gamma^4, \alpha^2\beta^2\gamma^2) \\ &\quad + \alpha\beta\gamma(\beta^2-\gamma^2)(\gamma^2-\alpha^2)(\alpha^2-\beta^2)F_2 \\ &\quad (\alpha^2+\beta^2+\gamma^2, \alpha^4+\beta^4+\gamma^4, \alpha^2\beta^2\gamma^2).\end{aligned}$$

Es mögen l, m, n die Richtungskosinus und H die Grösse der Magnetkraft bedeuten. Wenn man dann setzt:

$$\begin{aligned}\varphi(\alpha,\beta,\gamma) &= \psi_1(l^4+m^4+n^4, l^2m^2n^2, H) + lmn \\ &\quad (m^2-n^2)(n^2-l^2)\times(l^2-m^2) \\ &\quad \times\psi_2(l^4+m^4+n^4, l^2m^2n^2, H).\end{aligned}$$

erhält man

$$\begin{aligned}lA + mB + nC &= \frac{\partial\psi_1}{\partial H} + lmn(m^2-n^2) \\ &\quad (n^2-l^2)(l^2-m^2)\frac{\partial\psi_2}{\partial H}.\end{aligned}$$

Es wird also, wenn $\frac{\partial\psi_2}{\partial H}$ nicht verschwindet, in welchem Falle die Magnetkraft zu einer Ternärachse senkrecht, d. h. $l^4 + m^4 + n^4 = 1/2$ ist, die Magnetisierungsintensität längs der Magnetkraft verschieden sein, wenn auch nur die Richtung der Magnetkraft umgekehrt wird. Doch nach Weiss' Versuchen ist dies für Magnetit nicht der Fall. Wenn es erwiesen ist, dass ψ_2 für einen Krystall der holohedrischen Gruppe nicht verschwindet, folgt schon hieraus, dass die Magnetkraft kein Polarvektor ist.

Voigt beweist, dass die Intensitätskomponente der Magnetisierung längs der Magnetkraft senkrecht zu einer ternären Achse im allgemeinen sehr wenig von der Richtung abhängt im Vergleich mit dem Falle, dass der Vektor entweder senkrecht zu einer Quaternär- oder senkrecht zu einer Binärachse ist. Dies ist mit Weiss' Beobachtungen im Einklang.

Wenn die Intensitätskomponente der Magnetisierung für verschiedene Richtungen konstant bleibt, ist

$$\left[\frac{\partial^2\psi_1}{\partial(l^2m^2n^2)\,\partial H}\right]_{l^4+m^4+n^4=\frac{1}{2}} = 0,$$

$$\left[\frac{\partial\psi_2}{\partial H}\right]_{l^4+m^4+n^4=\frac{1}{2}} = 0.$$

Da A, B und C für $H = 0$ nicht unendlich gross werden können, wird aus diesen Bedingungen:

$$\left[\frac{\partial\psi_1}{\partial(l^2m^2n^2)}\right]_{l^4+m^4+n^4=\frac{1}{2}} = 0,$$

$$[\psi_2]_{l^4+m^4+n^4=\frac{1}{2}} = 0.$$

Voigt[1]) entwickelt A nach ansteigenden Potenzen von α und H; doch hierdurch wird an Allgemeinheit verloren, wenn gewisse $\beta\gamma^2$ enthaltenden Glieder nicht in denselben Ausdruck eingeführt werden. Wenn die Bedingung gestellt wird, dass keine Hysterese vorhanden ist, verschwinden einige Glieder in diesen Ausdrücken.

Für den Fall, dass die Magnetisierung nicht bedeutend mit der Richtung veränderlich ist, können wir vielleicht mit Vorteil schreiben:

$$\varphi = p_1 + (\alpha^4+\beta^4+\gamma^4)p_2 + \alpha^2\beta^2\gamma^2 p_3 + (\alpha^4+\beta^4 + \gamma^4)p_4 + \ldots,$$

wo p_1, p_2, p_3 ... Funktionen von H, aber von den Richtungskosinus der Magnetkraft unabhängig sind.

Wenn wir schreiben:

$$\varphi = p_1 + (\alpha^4+\beta^4+\gamma^4)p_2,$$

haben wir einen verhältnismässig einfachen Fall. Doch genügt dies nicht, um einige von Weiss' Hauptresultaten zu umfassen. Wenn p_2 von H unabhängig ist, kommen wir auf den von Wallerant[2]) behandelten Fall, vorausgesetzt, dass die Bedingung, dass

$$A\,d\alpha + B\,d\beta + C\,d\gamma$$

ein vollständiges Differential ist, wieder eingeführt wird.

1) Am 7. Juni 1902 in der Math.-Phys. Gesellschaft zu Tokyo vorgetragen.

2) P. Weiss, Thèses prés. à la Fac. d. Sc. de Paris, 1896; Journal de Physique (3) **5**, 435 1896.

3) Gött. Nachr. S. 331, **1900**.

4) Comptes Rendus **133**, 630, 1900.

1) Loc. cit.

2) Loc. cit.

(Aus dem Englischen übersetzt von A. Gradenwitz.)

(Eingegangen 3. August 1902.)

Mitteilungen aus dem physikalischen Institute der Universität Pisa. (Direktor: A. Battelli.)

No. 13[1]: A. Maresca, Über die Energie, welche von der oszillierenden Entladung eines Kondensators in leeren Röhren entwickelt wird.

1. Bei dem gegenwärtigen Stande unserer Kenntnisse von der elektrischen Entladung ist es wichtig, die Beziehung mit einiger Genauigkeit zu kennen, welche zwischen der im Funken verausgabten Energie und den Elementen besteht, welche den Entladungskreis zusammensetzen, und zwar für die verschiedenen Verhältnisse des Funkens und des Entladungsweges.

Die Arbeiten von Paalzow[2]), Villari[3]) und G. Wiedemann[4]) geben uns eine qualitative Vorstellung von den in Frage stehenden Vorgängen; die neueren Studien von W. Kaufmann[5]), P. Cardani[6]), Battelli und Magri[7]) gewähren uns keine ausreichenden Daten für die Lösung des Problems. Ich will versuchen, einen neuen Beitrag zu diesem Gegenstande zu liefern. Ich werde mich mit den Entladungen in verdünnter Luft beschäftigen, indem ich einerseits die in den evakuierten Röhren unter verschiedenen Drucken verbrauchte Energie in ihrer Beziehung zu dem Widerstand des übrigen Stromkreises messe, und andererseits prüfe, wie die in den Röhren selbst entwickelte Wärme vom Potential der Entladung abhängt.

2. Eine Holtzsche Maschine H (Fig. 1); ladet zwei Batterien von Kondensatoren C_1 und

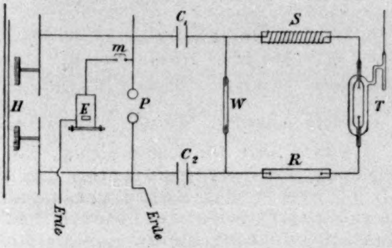


Fig. 1.

C_2; diese sind kaskadenförmig angeordnet; mit ihnen schaltet man in Reihe einen flüssigen, verstellbaren Widerstand R, die Entladungsröhre T und eine Spirale aus Kupferdraht S. So laden sich die Kondensatoren durch die kleine Wassersäule W hindurch; die Entladung geht durch den Hauptfunkenmesser P und durch die leere Röhre T. Der Widerstand R besteht aus einer 23 proz. Lösung von $ZnSO_4$ in destilliertem Wasser, die Elektroden sind aus Zink und haben einen Durchmesser von 7,2 cm.

Der Draht der Spirale S hat 4 mm Durchmesser und ist 16 m lang; ich bemerke, dass sein Widerstand gegenüber dem der flüssigen Säule R unbeachtet bleiben darf. Die von den Entladungen durchlaufene Glasröhre ist cylindrisch, 5 cm lang bei einem Durchmesser von 1,5 cm. Zwei in den Röhren A, A' befestigte Drähte tragen die kreisförmigen Elektroden aus Aluminium (Fig. 2). An die Entladungsröhre

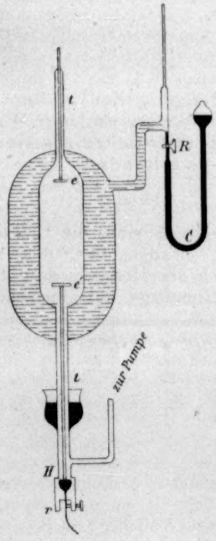


Fig. 2.

ist eine zweite Röhre angelötet, welche an ihrem oberen Teil einen Arm trägt, an dem ein gut kalibriertes Kapillarröhrchen befestigt ist.

Der Raum zwischen den beiden Röhren wird mit Toluol gefüllt; die durch den Durchgang der Entladungen verursachten Verschiebungen des Meniskus liest man mit dem Fernrohr an einer Millimeterskala auf der Kapillarröhre ab. — Das in C befindliche Quecksilber und der Hahn R gestatten, dass man den Meniskus an das unterste Ende der Skala zurückführen kann.

Die Konstante des Kalorimeters, mit kontinuierlichem Strom bestimmt, betrug 0,0127 Joule. —

3. Während einer ersten Reihe von Versuchen hielt ich den Druck in der Röhre konstant und veränderte die Länge der flüssigen

1) No. 12: Diese Zeitschrift **3**, 539, 1902.
2) Pogg. Ann. **127**, 126, 1866.
3) N. Cim. **4**, 49, 161, 1879; **6**, 115, 1879; Atti R. Acc. Lincei **6**, 176, 1882.
4) Pogg. Ann. **158**, 35, 1876.
5) Wied. Ann. **60**, 653, 1897.
6) Nuov. Cim. **11**, 113, 1900; **1**, 241, 1901.
7) Atti R. Acc. di Torino (2), **51**, 335, 1902.

Säule R. Ich machte dabei sechs Gruppen von Bestimmungen für jeden Druck und bestimmte die daraus sich ergebenden mittleren Grössen. In 30″ passierten 15 Entladungen die Röhre; ich las die Verschiebungen des Meniskus jede Minute ab und trug Sorge, die wegen des Wärmeaustausches mit der Umgebung gebotenen Verbesserungen anzubringen. Die Resultate der Messungen sind in Tabelle I zusammengestellt.

Tabelle I.

Drucke in der Röhre in mm von Hg	Verschiebungen q des Toluols in der Kapillare f. d. Länge R der Säule von $ZnSO_4$ in cm:					
	6	12	18	24	30	36
120	113	92	85	81	78	74
40	123	113	107	103	100	97
20	120	104	88	80	75	72
3	103	88	72	65	61	58

Die Menge q der in der Röhre entwickelten Wärme und der Widerstand R des übrigen Stromkreises sind durch die Beziehung verbunden:

$$1) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad q = A + \frac{B}{R}.$$

In Tabelle II sind die Grössen der Konstanten A, B angegeben; dieselben sind bestimmt nach der Methode der kleinsten Quadrate auf Grundlage der gegebenen Werte von p und R.

Tabelle II.

Drucke in der Röhre in Millimetern von Hg	A	B
120	66,91	304,80
40	91,65	239,20
20	60,47	448,80
3	47,31	414,40

Die beobachteten und die berechneten Grössen sind in Tabelle III einander gegenüber gestellt.

Aus dieser Tabelle geht hervor, dass innerhalb der Grenzen der experimentellen Fehler, für die verschiedenen untersuchten Drucke die Gleichung (1) gilt. Für den Funken bei gewöhnlichem Drucke wurde schon von Kauffmann eine analoge Beziehung sicher gestellt.

4. Bei Prüfung der Wärmeentwickelung in der Röhre in ihrer Abhängigkeit von den Potentialdifferenzen hielt ich die Kapazitäten des Entladungsstromkreises konstant und veränderte die Schlagweiten in P. Der Widerstand R wurde ausgeschaltet und an Stelle von S eine andere Spirale eingesetzt; dann wurden mittels des Kontaktes m (Fig. 1) die Verbindungen mit der Nadel eines auf Volt geeichten Righischen Elektrometers E hergestellt.

In Tabelle IV, in welcher q wie vorher die Verschiebungen des Meniskus für 15 Entladungen, V das Potential in elektrostatischen Einheiten (C. G. S.) bedeutet, sind die Resultate aufgeführt.

Tabelle IV.

$V^2 =$	291,8	410,8	486,4	713,6	908
$V^3 =$	4984	8330	10711	19078	27358
Druck von 60 mm					
$q =$	59	80	92	138	166
$\frac{q}{V^2} =$	0,202	0,194	0,191	0,193	0,183
$\frac{q}{V^3} =$	0,0118	0,00960	0,00859	0,00724	0,00606
Druck von 20 mm					
$q =$	61	91	99	143	185
$\frac{q}{V^2} =$	0,209	0,221	0,204	0,200	0,203
$\frac{q}{V^3} =$	0,0122	0,0109	0,00924	0,00749	0,00676
Druck von 5 mm					
$q =$	44	68	79	113	141
$\frac{q}{V^2} =$	0,150	0,165	0,162	0,158	0,155
$\frac{q}{V^3} =$	0,00882	0,00816	0,00737	0,00592	0,00515
Druck von 2 mm					
$q =$	35	55	63	90	102
$\frac{q}{V^2} =$	0,119	0,134	0,129	0,126	0,112
$\frac{q}{V^3} =$	0,00702	0,00660	0,00588	0,00472	0,00373

Man kann also den Schluss ziehen, dass bei steigendem Entladungspotential das Verhältnis der in der Röhre verausgabten Energie zum Quadrat des Potentials selbst merklich konstant bleibt.

5. Für den Funken bei gewöhnlichem Druck fand Kaufmann, dass $\frac{q}{V^3} = const.$ ist. Ich

Tabelle III.

Länge R in Centimeter der eingeschalteten Säule von $Zn\,SO_4$	Druck 120 mm		Druck 40 mm		Druck 20 mm		Druck 3 mm	
	Berechnete Verschiebungen	Beobachtete Verschiebungen	Berechnete Verschiebungen	Beobachtete Verschiebungen	Berechnete Verschiebungen	Beobachtete Verschiebungen	Berechnete Verschiebungen	Beobachtete Verschiebungen
6	117,7	113	131,5	123	134,2	120	116,3	103
12	93,2	92	111,5	113	98,8	104	81,8	88
18	83,8	85	104,9	107	85,4	88	70,3	72
24	79,6	81	101,6	103	79,1	80	64,6	65
30	77,1	78	99,6	100	75,4	75	61,1	61
26	75,3	74	98,3	97	72,9	72	58,8	58

nahm die Versuche wieder auf und verwendete dabei ein anderes Kalorimeter, das sich auf das Prinzip des vorhergehenden (Fig. 3) gründet;

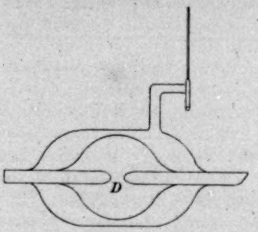


Fig. 3.

ich schaltete dasselbe an Stelle der Röhre T in den Entladungskreis ein. Die Entfernung D blieb stets konstant; P wurde wie gewöhnlich verändert. Ich bringe die Resultate in der Tabelle V.

Tabelle V.

q	V^2	V^3	$\frac{q}{V^2}$	$\frac{q}{V^3}$
32	1074	35195	0,0298	0,000909
42	1343	49207	0,0313	0,000853
48	1574	62456	0,0305	0,000768
58	1833	78489	0,0316	0,000739

Man kann sehen, dass obwohl die Beziehung zwischen der Wärmeentwickelung im Funken und dem Entladungspotential keiner der gemachten Annahmen genau folgt, dieselbe doch mit grösster Annäherung der Gleichung $\frac{q}{V^2} = const.$ entspricht.

6. Mit der auf Fig. 1 veranschaulichten Anordnung konnte ich ferner bei geeignetem Wechsel der Spiralen S feststellen, dass bei verschiedenen Oszillationsperioden der Entladungen die in der Röhre verbrauchte Energie mit Abnahme des Druckes bis zur Erreichung eines Maximums ansteigt, das unter den Bedingungen meiner Versuche 24 mm Hg entsprach, und dann mit steigender Verdünnung allmählich abnimmt.

(Aus dem Italienischen übersetzt von H. Rhumbler.)

(Eingegangen 3. Juli 1902.)

Über eine Methode zur Untersuchung der Leitfähigkeit von Gasen.

Von F. Harms.

Vor einiger Zeit wiesen fast gleichzeitig H. Geitel[1]) und C. T. R. Wilson[2]) nach, dass der atmosphärischen Luft, auch wenn sie sorgfältig staubfrei gemacht ist und radioaktive Substanzen und dergl. ferngehalten werden, stets eine geringe eigene Leitfähigkeit zukommt. Da bei den benutzten Methoden eine gewisse Schwierigkeit für absolute Messungen in der Bestimmung der Kapazität der dabei verwandten Elektroskope lag, so habe ich eine Methode ausgearbeitet, die diese Schwierigkeit beseitigt.

Sie beruht, wie die Methoden von Geitel und Wilson, auf der Bestimmung der Entladungskurve eines in dem zu untersuchenden Gase isoliert aufgestellten geladenen Körpers. Benutzt man nun den Kunstgriff, diesen Körper nur im Augenblick der Messung mit dem Messinstrument zu verbinden, so spielt die Isolation des Messinstruments nur eine ganz unwesentliche Rolle, und man braucht nur den geladenen Körper selbst gut zu isolieren. Zugleich hat man den Vorteil, dass man einen Körper verwenden kann, dessen Kapazität sich aus seinen geometrischen Dimensionen ohne weiteres berechnen lässt.

Dieser Körper war eine an einem Glasfaden aufgehängte geschwärzte Messingkugel; sie wurde durch Anschalten an eine Akkumulatorenbatterie auf ein bestimmtes Potential geladen, der verbindende Draht entfernt und die Kugel nach einer gemessenen Zeit mit einem Elektrometer[3]) verbunden. Wie ich mich durch Änderung des ladenden Potentials überzeugte, war der Ausschlag des Elektrometers der auf der Kugel vorhandenen Elektrizitätsmenge proportional.[4]) Durch die Verbindung mit dem Elektrometer wird natürlich das Potential der Kugel so weit erniedrigt, dass man diese Operation nicht wiederholen kann, man lädt dann einfach die Kugel wieder auf das ursprüngliche Potential und verbindet sie nach einer anderen Zeit mit dem Elektrometer. Da der Elektrizitätsverlust der Kugel nach wenigen Minuten gut messbar ist, so hält dieser Umstand die Messung nicht wesentlich auf.

Wichtig ist, dass die Schaltvorrichtungen so eingerichtet werden, dass ins Elektrometer fremde Elektrizitätsmengen nicht gelangen können, und dass Rückstandsbildungen unschädlich gemacht werden. Dazu ist erforderlich, dass die zum Elektrometer führende Leitung auf Isola-

1) Diese Zeitschr. **2**, 116, 1900.
2) Proc. Roy. Soc. **68**, 151, 1901.
3) Ich benutzte ein Quadrantenelektrometer nach Elster und Geitel von Günther in Braunschweig, das wegen der vorzüglichen Isolation sehr bequem war.
4) Vergl. weiter unten Tab. 1.

toren ruht, die auf zur Erde abgeleiteten Metallblechen befestigt sind, und dass Isolatoren, die mit der zum Laden der Kugel dienenden Hochspannungsleitung in Berührung gewesen sind, möglichst nicht mit der Elektrometerleitung in Berührung kommen. So war es mir z. B. unmöglich, übereinstimmende Resultate zu bekommen, als ich an dem Umschalter einen Quecksilbernapf in Paraffin angebracht hatte, der beim Laden der Kugel auf 70 Volt geladen wurde und später mit zur Verbindung von Kugel und Elektrometer diente. Ich habe diese Schwierigkeiten nach vielem Ausprobieren schliesslich folgendermassen überwunden [1]):

Auf eine zur Erde abgeleitete Messingplatte (*A*) (Fig. 1) sind zwei Messingröhrchen (5 cm hoch, 2,5 weit) gelötet (*BB* und *CC*). Im Innern des Rohrs *B* steht auf einem Schellackstäbchen der eiserne Quecksilbernapf *E*. Dieser ist dauernd mit einem Quadrantenpaar des Elektrometers verbunden.

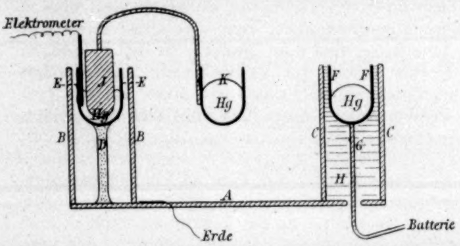


Fig. 1.

In dem Rohr *C* befindet sich in Paraffin (*H*) eingegossen der Quecksilbernapf *F*, durch den Draht *G* dauernd mit der Batterie verbunden. Ausserdem ist auf *A* noch ein mit *A* leitend verbundener Quecksilbernapf *L* befestigt (in der Fig. 1 nicht gezeichnet), der zur Verbindung des El. mit der Erde dient. In die beiden Quecksilbernäpfe passt ein massives Eisenstück *J*, das an einem Bügel den Quecksilbernapf *K* trägt; dieser dient zur Verbindung des Elektrometers mit der Kugel. Die Verbindung wird hergestellt durch einen Draht, der in einem seitlichen Tubus der Glasglocke drehbar befestigt ist; innen und aussen ist dieser Draht rechtwinklig umgebogen, so dass, wenn das eine Ende die Kugel berührt, das andere in den Quecksilbernapf *K* eintaucht. Je nachdem nun das Eisenstück *J* in *E* oder in *F* gesetzt wird, ist die Kugel mit dem Elektrometer oder mit der Batterie verbunden. Der Verbindungsdraht ist mit Paraffin [1]) in ein Messingröhrchen eingekittet, das sich in einem weiteren, in den Tubus der Glasglocke eingekitteten Messingrohr mit sanfter Reibung drehen lässt; dieses äussere Rohr ist zur Erde abgeleitet. Wird der Verbindungsdraht nicht zur Verbindung gebraucht, so dreht man ihn so, dass er an der mit zur Erde abgeleitetem Drahtnetz bekleideten Innenwand der Glasglocke anliegt; dadurch wird ein eventuell auftretender Rückstand unschädlich gemacht.

Es bleibt noch die Isolation der Kugel zu erwähnen. Die Hohlkugel war in der Richtung eines Durchmessers durchbohrt, die untere Öffnung etwas weiter als die obere. Ein Glasfaden (*f*) wurde an einem Ende zu einer kleinen Kugel zusammengeschmolzen, die durch die obere Öffnung der Kugel gerade nicht hindurch ging (Fig. 2); das andere Ende des paraffinierten Glas-

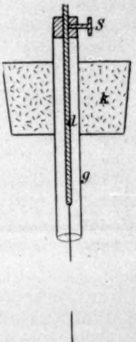


Fig. 2.

fadens wurde mit Siegellack an einem starken Messingdraht (*d*) befestigt, der von einem Glasrohr (*g*) umschlossen wurde. Der Messingdraht wurde von einer Klemme (*s*) gehalten, die Vertikalverschiebungen der Kugel auszuführen gestattete. Nach dem Verfahren von Wilson [2]) kann man diesen Draht auf das Potential der Kugel laden, um Isolations-

1) Ich beschreibe diese Anordnung so genau, weil von der zweckmässigen Einrichtung der Schaltvorrichtungen die Brauchbarkeit der Methode abhängt, und weil ich glaube, dass diese Methode vielfacher Anwendungen fähig ist; nämlich überall dort, wo es sich um die Messung geringer Elektrizitätsmengen handelt.

1) Hier ist die einzige Stelle, an der schädliche Rückstandsbildung auftreten könnte.

2) C. T. R. Wilson, Proc. Roy. Soc. **68**, 151, 1901.

fehler des Glasfadens unschädlich zu machen. Ich habe aber nie einen Unterschied des Ausschlages bemerkt, ob der Draht auf das Potential der Kugel geladen oder zur Erde abgeleitet war; immerhin ist hier ein bequemes Verfahren gegeben, die Isolation des Aufhängefadens zu prüfen. Mittels des Glasrohrs (*g*) ist die Aufhängevorrichtung in einen Kork (*k*) eingesetzt, der die Glasglocke luftdicht abschliesst.

Beim Versuch verfährt man folgendermassen: Das Elektrometer ist durch die Quecksilbernäpfe *E* und *L* mit der Erde verbunden. Der Bügel *JK* liegt in *F* mit der Batterie verbunden. Während alles andere mit der Erde verbunden bleibt, wird der Verbindungsdraht so gedreht, dass die Kugel mit *K* verbunden ist; zur Zeit *o* wird der Verbindungsdraht zurückgedreht und mit der Erde verbunden. Die Kugel ist jetzt zum Potential der Batterie geladen. Nun wird, ohne dass die Erdleitung des Elektrometers aufgehoben wird, der Bügel *JK* aus *F* nach *E* umgesetzt und dann die Erdleitung des Elektrometers aufgehoben. Zur Zeit *t* wird der Verbindungsdraht wieder so gedreht, dass die Kugel mit *K* verbunden ist; dadurch wird ihre Ladung dem Elektrometer zugeführt und kann durch den Ausschlag gemessen werden. Es empfiehlt sich, die Kugel mit dem Elektrometer verbunden zu lassen. Alle diese Operationen lassen sich in wenigen Sekunden ausführen.

Es ist nun nicht von vornherein klar, dass die Ausschläge des Elektrometers, den Elektrizitätsmengen, die sich auf der Kugel befinden, proportional sind[1]); thatsächlich sind sie es, wie folgende Tabelle zeigt:

Tabelle 1.

Anfangs-potential der Kugel (V_0)	Ausschlag nach 1 Min. (s)	$\frac{s}{V_0}$	Ausschlag[2]) nach 0 Min. (s')	$\frac{s'}{V_0}$
71 Volt	266	3,75	272	3,83
61	229	3,75	237	3,88
51	192	3,76	200	3,91
43,0	159	3,70	167	3,88
33,4	122	3,66	129	3,86
23,2	82	3,53	89	3,84

Die Tabelle ist so zu verstehen: es wurde eine Kugel vom Radius 2,25 cm auf das Potential V_0 geladen, nach 1 Min. wurde sie mit dem Elektrometer verbunden, das den Ausschlag *s* angab. Wie die Tabelle zeigt, ist das Verhältnis $s : V$ konstant.

Als Beispiel für die Genauigkeit, die sich mit dieser Methode erreichen lässt, gebe ich folgende Beobachtungsreihe an: ($V_0 = -71$ Volt[3]).

1) Ich werde auf diesen Punkt demnächst noch zurückkommen.

2) Mit Hilfe der Tab. 4 berechnet.

3) Die Elektrizitätsverluste für positive und negative Ladung der Kugel wurden innerhalb der Beobachtungsfehler stets gleich gefunden.

Tabelle 2.

t	s_0	s_1	s_2	s	Differenz gegen den Mittelwert Proz.
1 Min.	510	510	240	270	+1,7
1	510	503	239	264	−0,6
5	510	505	279	226	−0,3
1	510	503	238	265	−0,2
5	510	505	280	225	−0,7
1	510	502	237	265	−0,2
5	510	505	276	229	+1,1
1	510	501	238	263	- 0,9
5	509	503	276	227	+0,2
1	509	503	237	266	+0,2
5	510	504	278	226	−0,3
1	508	509	243	266	+0,2
1	504	494	229	265	−0,2
1		Mittel		265,5	
5		Mittel		220,6	

t ist die Zeit, nach der die Kugel mit dem Elektrometer verbunden wurde. s_0 ist die Ruhelage des Elektrometers, *s* die Einstellung nach Aufhebung der Erdleitung[1]), s_2 die Einstellung nach der Verbindung mit der Kugel, $s = s_1 - s_2$ ist also der Ausschlag. Die Beobachtungen wurden in der angegebenen Reihenfolge nacheinander ausgeführt; die Abweichungen der Einzelwerte vom Mittel zeigen, dass sich eine Genauigkeit von weniger als 1 Proz. erreichen lässt, womit man sich bei diesen ausserordentlich geringen Elektrizitätsmengen wohl begnügen kann.

Ich lasse jetzt Beobachtungen bei verschiedenen Anfangsladungen der Kugel folgen:

Radius der Kugel 2,25 cm.

Volumen der Glasglocke 17000 ccm.

Kapazität der Kugel[2]) 2,62 cm.

Vo ist das Anfangspotential der Kugel, *t* die Zeit, nach der sie mit dem Elektrometer verbunden wurde, *s* der dann erfolgende Ausschlag:

Tabelle 3.

$V_0 = 71$ Volt	t Min.	1/2	1	2	3	5	7	10	15	20
	s	273	266	257	246	230	214	192	149	114

$V_0 = 47,4$	t	1/2	1	2	3	5	10	15
	s	182	177	169	159	141	104	74

$V_0 = 30,8$	t	1/2	1	2	3	5	10	19
	s	121	114	109	101	86	53	8

$V_0 = 15,0$	t	1/2	1	5	10
	s	58,1	53,3	30,7	12,2

Die Zahlen dieser Tabelle sind in der Kurve Fig. 3 vereinigt. Es wurden zunächst die mit

1) Die geringe Differenz ist durch Verschiedenheit beim Umschalten zu erklären; ich habe mich durch künstliche Vergrösserung dieses Ausschlags (bis zu 50 mm) überzeugt, dass die Differenz $s_1 - s_2$ dadurch nicht beeinflusst wird.

2) Die Kapazität der Kugel berechnete ich, indem ich für die zur Erde abgeleitete Innenwand der Glasglocke eine Kugel mit gleichem Volumen einsetzte; da ihr Radius gegen den der Kugel schon ziemlich gross ist, so macht diese Vereinfachung nur einen sehr geringen Fehler in der Kapazität aus.

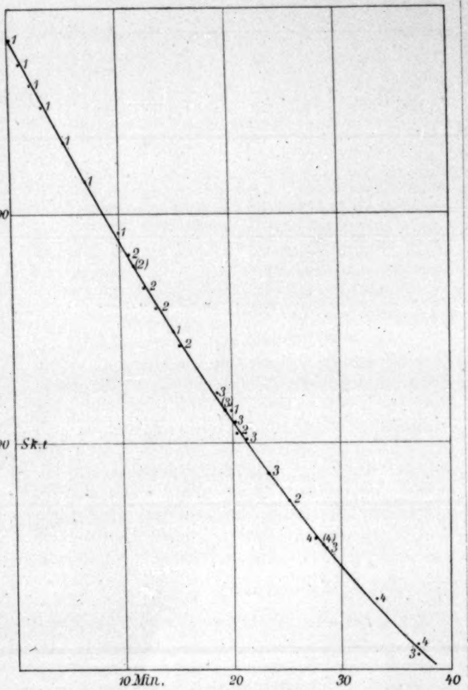


Fig. 3.

der Anfangsladung 71 Volt erhaltenen Ausschläge aufgetragen, durch diese wurde eine Kurve gelegt und auf dieser Kurve der Punkt gesucht, der dem Ausschlag s für 1 Min. bei 47,4 Volt Anfangsladung entsprach; von diesem Punkte an wurden die Zeiten für 47,4 Volt Anfangsladung gezählt. Ebenso wurde bei den beiden anderen Spannungen verfahren; die mit 1, 2, 3, 4 bezeichneten Punkte entsprechen den mit den Anfangsladungen 71; 47,4; 30,8; 15,0 erhaltenen Werten. Wie man sieht, liegen die Punkte anfangs sehr genau auf einer Geraden, die später gegen die t-Achse konvex wird. Wäre im ganzen untersuchten Gebiet Sättigungsstrom vorhanden, so müsste eine gerade Linie resultieren. Ich habe aus der Kurve die Differenzen der Ausschläge für je 5 Min. bestimmt; es ergaben sich die Zahlen:

Tabelle 4.

Intervall Min.	0—5	5—10	10—15	15—20	20—25	25—30	30—35
Differenz Skt.	41	42	40	39	35	30	25
Differenz pro Min.	8,2	8,4	8,0	7,8	7,0	6,0	5,0
mittleres Potential	64 Volt	54	44	34	24	16	8,4

Man sieht, dass die Abnahme des Ausschlags pro Minute etwa dem Grenzwert 8,2 Skalenteilen zustrebt.

Diese Zahlen sind proportional der Stromstärke, die während der betreffenden 5 Min. durch das Gas hindurchging, wenn man den Strom für die 5 Min. konstant setzt; nimmt man dann als elektromotorische Kraft den Mittelwert des Potentials am Anfang und am Ende der 5 Min. an, so ergiebt sich die in Fig. 4 gezeichnete Abhängigkeit der Stromstärke von der elektromotorischen Kraft.

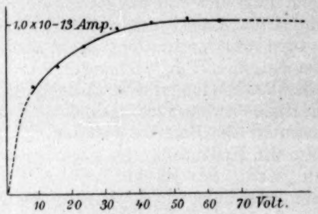


Fig. 4.

Die Stromstärke ist bei einer Ladung der Kugel auf 70 Volt von der elektromotorischen Kraft praktisch unabhängig; ist aber diese Bedingung erfüllt, so werden in jedem Moment soviel Ionen regeneriert, wie verbraucht werden. Nun haben die Versuche ergeben, dass beim Sättigungsstrom in der Minute

$$\frac{8,2 \times 2,62 \times 71}{274 \cdot 300} = 1,86 \times 10^{-2} \text{ e. st. E.}$$

von der Kugel verschwinden; das Volumen der Glasglocke beträgt 17000 ccm, also werden in jedem Kubikcentimeter pro Sek. verbraucht:

$$\frac{1,86 \times 10^{-2}}{60 \times 17000} = 1,80 \times 10^{-8} \text{ e. st. Einh.}$$

Nach J. J. Thomson trägt ein Ion

$$6,5 \times 10^{-10} \text{ e. st. Einh.,}$$

es werden also pro Sekunde und Kubikcentimeter in der Luft

$$\frac{1,73 \times 10^{8}}{6,5 \times 10^{-10}} = 28 \text{ Ionen}$$

(bei etwa 18°) verbraucht und regeneriert.

Die Luft war getrocknet und durch ein Wattefilter filtriert und hatte mehrere Tage ruhig unter der Glocke gestanden.

C. T. R. Wilson[1]) findet bei 15° C. die Zahlen 14 bezw. 19 $\frac{\text{Ionen}}{\text{Sek.}}$ Wilson erwähnt selbst[2]), dass diese Zahlen wahrscheinlich zu klein sind, weil ein Teil der Ionen durch das Feld, welches von seiner Kontaktvorrichtung und dem „Trägerdraht" gebildet wird, ver-

1) Proc. Roy. Soc. 68, 151, 1901.
2) l. c. 158.

braucht werden. Ausserdem würden Wilsons Zahlen zu klein ausgefallen sein, wenn der als Isolation verwandte Schwefel nicht völlig isolierte.

Nach Tabelle 2 findet man aus den Beobachtungen bei 1 Min. und 5 Min. die in 1 Sek. zerstreute El. M.

$$\frac{265{,}5 - 226{,}6}{4 \times 60} \cdot \frac{2{,}62 \times 71}{300 \times 274} \text{ e. st. Einh.,}$$

das sind pro Kubikcentimeter 33 Ionen (bei 25^0).

Aus der Beobachtung des Ausschlags nach 1 Min. und nach 5 Min. lässt sich also die Zahl der Ionen mit ziemlicher Genauigkeit feststellen. Wilson berechnete seine Zahlen aus der Abnahme des Ausschlags in 1 Stunde.

Oben hatte ich 28 Ionen bei 18^0 gefunden. Ob dieser Unterschied von der verschiedenen Temperatur herrührt, vermag ich noch nicht zu sagen; immerhin würde man einen positiven Temperaturkoeffizienten erwarten; auch die Abweichung der bei 15^0 ausgeführten Wilsonschen Messung liegt nach der entsprechenden Seite. Eine grössere Anzahl derartiger Beobachtungen (17 an 10 verschiedenen Tagen) lieferte Werte zwischen 27 und 33 bei Temperaturen zwischen 18 und 26^0 C.

Zur weiteren Kontrolle der Methode wurde ein 1,80 m langer Cu-draht isoliert aus dem Fenster gehängt und 2 Stunden lang mit einer kleinen Influenzmaschine auf ca. —8000 Volt geladen. Nach den Beobachtungen von Elster und Geitel[1]) musste der Draht radioaktiv geworden sein; zur Prüfung der Radioaktivität wurde er unter die Glasglocke gebracht und die Leitfähigkeit der Luft bestimmt. Die Ausschläge des Elektrometers waren[2])

Tabelle 5.

	Nach 1 Min.	Nach 5 Min.	Abnahme pro Min.
Vor dem Einbringen des Drahtes	241	213	7,0
Unmittelbar nachher . .	231	165	16,5
Nach $3^1/_2$ Std.	237	205	8,0

Durch den Draht war also die Leitfähigkeit der eingeschlossenen Luft mehr als verdoppelt; nach $3^1/_2$ Std. war der alte Wert fast wieder erreicht. Ähnliche Zahlen wurden mehrfach erhalten.

Auch für andere Zwecke, z. B. die Untersuchung des Hallwachseffekts, auch für die Bestimmung kleiner Kapazitäten, die man mit Kugeln vergleichen könnte, liesse sich die Methode verwerten. Die Benutzung beider Quadrantenpaare ermöglicht eine bequeme Differentialmethode.

1) Diese Zeitschr. **2**, 590, 1901.
2) Bei anderer Elektrometerempfindlichkeit.

Würzburg, physikalisches Institut.

(Eingegangen am 16. September 1902.)

VORTRÄGE UND REDEN.

Die physikalischen Ursachen der Abweichungen vom Newtonschen Gravitationsgesetze.[1])

Von Peter Lebedew (Moskau).

Die Frage nach der Abweichung vom allgemeinen Gravitationsgesetze und nach deren physikalischen Ursachen gehört zu den ältesten Fragen der Astrophysik — sie ist älter als das Newtonsche Gravitationsgesetz selber: vor dreihundert Jahren wurde sie von Kepler aufgeworfen und in einer Weise beantwortet, wie wir sie heute nicht besser beantworten können. In ihrer auffallendsten und zugleich einfachsten Form zeigt sich diese Abweichung vom Newtonschen Gravitationsgesetze bei Kometenschweifen, wo sie als ausgeprägte abstossende Kraft der Sonne auftritt. Die Entwickelung der Anschauungen über die Natur dieser abstossenden Kraft und ihre physikalische Begründung gehört zu den interessantesten Kapiteln der Astrophysik: die innige Verknüpfung einer astrophysikalischen Theorie mit den herrschenden physikalischen Anschauungen und Ergebnissen lässt sich hier im Verlaufe von drei Jahrhunderten verfolgen.[1])

Kepler (1608) hat die Ansicht ausgesprochen, dass Kometenschweife Ausdünstungen des Kometenkopfes sind, welche sich unabhängig vom Kometenkopfe bewegen und von der Sonne nicht angezogen, sondern abgestossen werden; die physikalische Ursache dieser abstossenden Kraft führte Kepler auf die Sonnenstrahlung zurück: die Emissions-(corpuscular)-theorie des Lichtes war die zu seiner Zeit herrschende Vorstellung von den Lichterscheinungen, aus ihr

1) Vortrag, gehalten bei der Versammlung der Astronomischen Gesellschaft in Göttingen, den 4. August 1902. Vom Verf. mitgeteilt aus den „Vierteljahrschr. d. Astron. Ges."

1) Ausführliche Zusammenstellungen dieser Entwickelungsgeschichte finden sich bei de Mairan „Traité physique et historique de l'Aurore Boréale" (Seconde Edition), Paris 1754, und bei F. Zöllner, „Wissenschaftliche Abhandlungen", zweiter Band, zweiter Teil. Leipzig 1878.

folgte als notwendige mechanische Konsequenz, dass Lichtstrahlen Druckkräfte auf die getroffenen Körper ausüben und hierdurch liess sich die Abstossung der sehr kleinen Dunstkörperchen durch Sonnenstrahlen erklären.

Newton[1]) (1687) hat ausdrücklich hervorgehoben, dass die Keplersche Zurückführung der Abstossung auf Druckkräfte der Strahlung eine annehmbare Erklärungsweise sei, hat sich aber der Keplerschen Auffassung nicht angeschlossen, indem er versuchte, die Abstossung der Kometenschweife seinen Gravitationsgesetzen unterzuordnen und als eine bloss „scheinbare“ zu deuten; Newton machte die Hypothese, dass der Weltraum von einem gasförmigen Medium erfüllt sei, welches spezifisch schwerer ist als die Gase der Kometenschweife: diese letzteren erfahren dann einen Auftrieb (nach dem Archimedischen Gesetze) und werden also nur scheinbar von der Sonne abgestossen.

Euler[2]) (1744) hat die Schwierigkeiten, welche die Hypothese Newtons nach sich zog, wohl eingesehen, kehrte zu der Auffassung Keplers zurück und suchte gleichfalls die Abstossung durch Druckkräfte des Lichtes zu erklären: als eifriger Gegner der Emissionstheorie des Lichtes hat Euler[3]) sich aber auf den Standpunkt Huyghens gestellt und angenommen, dass das Licht eine wellenförmige Bewegung mit longitudinalen Verschiebungen im Lichtäther ist; er behandelte die Frage als eine Reihe mechanischer Stösse, welche die auffallenden longitudinalen Wellen auf die getroffenen Körper ausüben und begründete in dieser Weise die Existenz der Druckkräfte des Lichtes.[4])

Um die Mitte des achtzehnten Jahrhunderts, etwa 35 Jahre bevor Cavendish (1789) das Gesetz der Massenanziehung im Laboratorium untersucht hat, haben de Mairan und du Fey[5]) (1754) den ersten Versuch gemacht, die Druckkräfte der Strahlung, welche die Abweichung vom Newtonschen Gravitationsgesetze bedingen sollen, einer direkten experimentellen Prüfung zu unterwerfen; mit bewunderungswürdiger Geschicklichkeit haben de Mairan und du Fey ihre Untersuchung angelegt, sind aber auf Schwierigkeiten (Luftströmungen) gestossen, welche mit den experimentellen Hilfsmitteln des achtzehnten Jahrhunderts nicht überwunden werden konnten, und waren gezwungen, die Frage nach der Existenz der ponderomotorischen Kräfte des Lichtes unbeantwortet zu lassen.

1) J. Newton, Principia philosophiae naturalis mathematica. Lib. III. Londoni 1687.
2) L. Euler, vergl. Zöllner, l. c. S. 525.
3) L. Euler, Histoire de l'Académie Royale de Berlin **2**, 121, 1746.
4) Das Auftreten solcher Druckkräfte im Falle longitudinaler (akustischer) Wellen hat neuerdings Lord Rayleigh (Philos. Magaz. March 1902) behandelt; ihre Existenz wurde bereits viel früher von V. Dvořák, Pogg. Ann. **157**, 42, 1876, für Schallwellen experimentell nachgewiesen.
5) De Mairan, „Traité“ ... l. c. S. 371.

Im neunzehnten Jahrhundert wurde die Aufmerksamkeit auf die Bewegung der Kometen durch die bahnbrechenden Untersuchungen von Olbers geleitet; die abstossende Kraft, welche die Sonne auf Kometenschweife ausübt, stellte Olbers als eine sich aus den Beobachtungen ergebende Thatsache fest; was deren physikalische Begründung anbelangt, so hat Olbers[1]) (1812) sowohl die Ansicht Keplers als auch diejenige Newtons als Hypothesen zurückgewiesen, welche durch Versuche nicht gestützt waren, und in einer sehr vorsichtigen Weise eine neue Vermutung ausgesprochen: „Man kann sich schwerlich enthalten, dabei an etwas unseren elektrischen Anziehungen und Abstossungen Analoges zu denken“. Berücksichtigen wir, dass Olbers diese Vermutung aussprach, als die Elektrizitätslehre ihre ersten Triumphe feierte, so lässt sich die Zurückführung auf elektrische Kräfte, deren Gesetze der Fernewirkung aus den direkten Versuchen Coulombs (1785) bereits bekannt waren, leicht begreifen.

Die „elektrische“ Theorie Olbers' wurde nunmehr zu der herrschenden: die Eigenschaft der elektrischen Kräfte mit dem Quadrate der Entfernung abzunehmen (welche aber auch den Druckkräften des Lichtes zukommt), genügte Bessel[2]) (1836), eine einfache Theorie der Kometenschweife zu geben und die absolute Grösse der abstossenden Kraft aus der Krümmung des Schweifes zu berechnen; Bredichin[3]) hat durch Ausmessung vieler Kometenschweife die Grösse dieser abstossenden Kraft als charakteristisch für verschiedene Schweifsubstanzen gefunden und ihre Werte (im Vergleiche zur Massenanziehung) zu 0,2, 1,1 und 17,5 ermittelt

Die „elektrische“ Theorie Olbers' ist auf zwei Hypothesen gegründet: die erste, dass die Sonne eine konstante elektrische Ladung besitze, und die zweite, dass die einzelnen Moleküle der Schweifgase beim Verlassen des Kometenkopfes elektrische Ladungen bekommen, deren Vorzeichen mit dem der Sonnenladung übereinstimmt. Im Laufe der Jahre hat die physikalische Begründung beider Hypothesen keinen nennenswerten Fortschritt gemacht: die Annahme einer elektrischen Ladung der Sonne konnte nur unter Einschaltung von Hilfshypothesen mit magnetischen Erscheinungen auf der Erde verknüpft werden — es konnte aber weder die absolute Grösse der Sonnenladung, noch ihr Vorzeichen bestimmt werden. Was die Elektrisierung der einzelnen Gasmoleküle

1) W. Olbers, Leben und Werke **1**, 331, Berlin 1894.
2) Bessel, Astron. Nachr **13**, 185, 1836.
3) Th. Bredichin, Annales de l'observ. de Moscou (2) **1**, 45, 1886.

unter den Verhältnissen anbelangt, welche der zweiten Hypothese entsprechen, so sind solche Elektrisierungsvorgänge dem Physiker im Laboratorium bisher nicht bekannt geworden.

Um die Annahme einer Elektrisierung der Schweifmaterie zu stützen, wird oft auf die Ähnlichkeit der Leuchterscheinungen in Kometenschweifen und in Geisslerschen Röhren hingewiesen: eine solche Beweisführung ist unzulässig und widerspricht dem Prinzipe der Erhaltung der Energie, demgemäss jede Leuchterscheinung mit Abgabe von Energie verbunden ist und diese bei konstant elektrostatisch geladenen Gasmolekülen ausgeschlossen ist; die Ursache der Leuchterscheinung in Kometenschweifen ist wohl auf die Fluoreszenz stark beleuchteter Gase zurückzuführen, welche durch direkte Versuche von Lommel[1]), Wiedemann und Schmidt[2]) nachgewiesen ist.[3])

Wie schwerwiegende Bedenken sich gegen die elektrischen Hypothesen erheben lassen, hat Zöllner angedeutet: Zöllner (1872), dem die Ausarbeitung der elektrischen Theorie wohl am meisten verdankt, hat sich bereit erklärt[4]), seine Theorie aufzugeben und sich der Keplerschen anzuschliessen, wenn der Beweis für die Existenz der Druckkräfte der Sonnenstrahlung erbracht sein wird.

Die Frage nach dem Vorhandensein der Druckkräfte des Lichtes wurde ganz unabhängig von astronomischen Theorien vor dreissig Jahren von Maxwell[5]) (1873) als Folgerung aus seiner elektromagnetischen Theorie des Lichtes und von Bartoli[6]) (1876) als eine Konsequenz des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik gelöst; diese theoretischen Untersuchungen ergaben übereinstimmend, dass Druckkräfte der Strahlung notwendig existieren müssen und dass sie in einer einfachen Beziehung zu der auf den Körper als Parallelstrahlenbündel pro Sekunde auffallenden Energiemenge (E) und der Lichtgeschwindigkeit (V) stehen. Für einen absorbierenden Körper lautet diese Beziehung:

$$p = \frac{E}{V}.$$

Für Sonnenstrahlung in der Erdentfernung ergiebt das einen Druck von 0,5 Milligrammgewicht pro 1 qm.

1) E. Lommel, Wied. Ann. **19**, 356, 1883.

2) E. Wiedemann und G. C. Schmidt, Wied. Ann. **56**, 18, 1895 und **57**, 447, 1896.

3) Ausser den Erscheinungen der Fluoreszenz sind im beleuchteten sehr verdünnten Gase noch Resonanzausstrahlungen möglich, welche für elektromagnetische Resonatoren, die sich im Zuge elektromagnetischer Wellen befinden, sowohl theoretisch als experimentell bereits nachgewiesen sind.

4) F. Zöllner, „Über die Natur der Kometen", S. 198. Leipzig 1872.

5) J. C. Maxwell, Treatise on Electricity and Magnetism, § 792.

6) A. Bartoli, Nuovo Cimento. **15**, 195, 1883

In letzter Zeit ist es mir[1]) sowie Nichols und Hull[2]) gelungen, diesen Druck des Lichtes durch direkte Laboratoriumsversuche nachzuweisen und die Maxwell-Bartolische Beziehung wurde quantativ bestätigt gefunden.

Als diese experimentellen Untersuchungen noch nicht vorlagen, hat bereits Fitzgerald[3]) (1883) die theoretischen Ergebnisse Maxwells auf die Abweichungen vom Newtonschen Gravitationsgesetze bei der Bewegung der Kometen angewendet, hat aber den prinzipiellen Fehler begangen, seine Resultate auf Gasmoleküle der Schweife ohne weiteres auszudehnen, ohne zu berücksichtigen, dass die Ableitung Maxwells nur für Körper gilt, welche gross sind gegenüber der Wellenlänge der auffallenden Strahlung. Frei von diesem Fehler sind die gleichzeitig von Lodge[4]) und von mir[5]) gemachten Überlegungen über die abstossende Kraft der Sonne und über die Deformation und Auflösung von Kometenköpfen, welche ich[6]) angegeben habe, während neuerdings Arrhenius[7]) bei seiner Theorie der Sonnenkorona diesen Fehler wieder gemacht hat.

Für einen kugelförmigen Körper, dessen Dimensionen gross sind gegenüber den Wellenlängen der Sonnenstrahlung, lässt sich die resultierende Wirkung (F) der Sonne in Einheiten der Gravitationskraft angeben[8])

$$F = 1 - \frac{1}{10.000} \cdot \frac{1}{r\delta},$$

worin r der Radius in Centimeter und δ die Dichte des Körpers (auf Wasser = 1 bezogen) bedeutet.

Hieraus ist ersichtlich, dass für einen Körper, dessen Dimensionen 1 m überschreiten, die Abweichungen vom Newtonschen Gravitationsgesetze innerhalb der Fehlergrenzen der feinsten astronomischen Beobachtungen verschwinden. Für einen Kometenkopf, der aus einem Meteoritenschwarm solcher Steine besteht, die kleiner sind als 1 cm, kann diese Abweichung bei günstigen Beobachtungsverhältnissen eben nachgewiesen werden; bei noch kleineren Steinchen wird diese Abweichung entsprechend grösser ausfallen. Es lässt sich aber auch umgekehrt die Behauptung aufstellen, dass, wenn keine merkliche Abweichung vom Newtonschen Gesetze vorliegt

1) P. Lebedew, Ann. der Phys. (4) **6**, 433, 1901.

2) F. Nichols and Hull, Physic. Rev. **13**, 307, 1901.

3) Fitzgerald, Proceed. Roy. Soc. Dublin **3**, 344, 1883.

4) O. Lodge, Nature, sept. 1891, p. 454.

5) P. Lebedew, Wied. Ann. **45**, 292, 1892; es war mir leider damals die Arbeit Fitzgeralds entgangen.

6) P. Lebedew, Rapports présentées au Congrès International de Physique à Paris **2**, 133, 1900.

7) S. Arrhenius, Diese Zeitschr. **2**, 81, 1900.

8) Vergl. Wied. Ann. **45**, 294, 1892; auf Körper, die nicht kugelförmig sind, üben die Sonnenstrahlen eine etwas grössere Abstossung aus, da bei ihnen das Verhältnis der Oberfläche zum Volumen ein grösseres ist.

und die Grösse der Unsicherheit der Beobachtungen bekannt ist, sich die untere Grenze für die Grösse der Steine des Kometenkopfes angeben lässt.

Besteht der Kometenkopf aus einem Schwarm hinreichend kleiner Meteorsteine, deren Dimensionen ungleich sind, so wird sich ein solcher Schwarm ununterbrochen deformieren und auflösen, was bei periodisch gewordenen Kometen besonders ausgeprägt auftreten muss. Die Vorausberechnung der Bahn eines solchen Schwarmes in üblicher Weise wird mit den späteren Beobachtungen die grössten Diskrepanzen ergeben; möglicherweise lassen sich hierdurch die eigentümlichen Bewegungserscheinungen der Bieliden erklären.

Für Staubteilchen, deren Dimensionen nach Tausendsteln eines Millimeters gemessen werden, welche also mit den Wellenlängen der auffallenden Sonnenstrahlung vergleichbar sind, versagt die oben angeführte Beziehung: Schwarzschild[1]) hat gezeigt, dass in diesem Falle die abstossende Kraft bei gewissen Dimensionen ein Maximum erlangt, um bei noch kleineren Dimensionen rasch abzunehmen.

Bei Gasmolekülen, welche von Sonnenstrahlen getroffen werden, treten Resonanzerscheinungen auf, welche von Druckkräften der auffallenden Strahlen begleitet werden, wie ich[2]) das durch Rechnung nachgewiesen habe. Auf diesem Gebiete, welches für die Astrophysik von besonderer Bedeutung ist, sind aber zuerst die Ergebnisse einer direkten experimentellen Untersuchung noch abzuwarten.

1) K. Schwarzschild, Ber. d. Münch. Akad. d. Wiss. 1901, S. 293.

2) P. Lebedew, Wied. Ann. **62**, 170–172, 1897. Bei Gasen ist die Grösse der Druckkraft gleich der absorbierten Energiemenge dividiert durch die Lichtgeschwindigkeit; das Verhältnis der Absorption zur Masse ist für verschiedene Gase sehr verschieden.

Überblicken wir die geschichtliche Entwickelung unserer Anschauungen über die physikalische Ursache der Abweichungen vom Newtonschen Gravitationsgesetze, so sehen wir, dass die Anschauung, welche Kepler vor drei Jahrhunderten ausgesprochen hat, und welche zuerst von der Newtonschen Auftriebhypothese, dann von der elektrischen Hypothese Olbers zurückgedrängt wurde, von neuem auftritt, indem sie sich nunmehr auf die von Maxwell und von Bartoli theoretisch begründete und neuerdings durch direkte Versuche nachgewiesenen Druckkräfte des Lichtes stützt. Die Anschauung Keplers hat sich zu einer physikalisch begründeten Theorie entwickelt: jetzt müssen wir die Behauptung aufstellen, dass die Sonne abstossende Kräfte besitzt, aus unseren Versuchen im Laboratorium erhalten wir die Grössen der Druckkräfte, welche das Licht auf verschiedene Körper ausübt und können nun im voraus quantitativ diejenigen Abweichungen vom Newtonschen Gravitationsgesetze angeben, welche notwendig vorhanden sein müssen, beziehungsweise auf deren Folgerungen eingehen.

Die Frage, ob elektrische Fernkräfte in dem einen oder dem anderen Falle auftreten und ob sie ihrerseits auch eine merkliche Abweichung vom Newtonschen Gesetze bedingen, muss zur Zeit als eine offene Frage hingestellt werden: erst wenn wir die unzweifelhaft vorhandene Wirkung der Druckkräfte des Lichtes quantitativ in Rechnung gezogen haben, können wir über das Fehlen oder das Vorhandensein noch einer anderen Fernkraft schliessen und aussagen, ob noch weitere Annahmen notwendig sind, oder ob die Annahme Keplers allein ausreicht.

(Eingegangen 27. August 1902.)

REFERATE.

Physikalisches vom St. Petersburger Naturforscher-Kongress.

Der XI. Kongress russischer Naturforscher und Ärzte, welcher vom 2. bis zum 12. Januar dieses Jahres in St. Petersburg tagte, zeichnete sich vor seinen Vorgängern sowohl nach innen als nach aussen in vorteilhafter Weise aus. Den von fern und nah in der nordischen Residenz zusammengeströmten Freunden und Förderern der Naturwissenschaften (auch aus Deutschland waren mehrere Gäste erschienen) bot sich in jeder Beziehung Anregung und Belehrung dar. Mehr als hundert wissenschaftliche und technische Institute hatten den Kongressteilnehmern ihre Thore in gastfreundlichster Weise geöffnet, für billige Unterkunft, gute Verpflegung und Zerstreuungen aller Art war gesorgt; sogar feierliche Empfänge im kaiserlichen Winterpalais, dem Adelskonvent etc. wurden zur Erhöhung des festlichen Glanzes der Kongresstage veranstaltet. Circa 4200 Personen beiderlei Geschlechts nahmen an dem Kongress teil, der in 13 Sektionen die verschiedensten naturwissenschaftlichen Disziplinen zum Gegenstande seiner Arbeiten machte. Für die Leser dieser Zeitschrift dürfte es genügen, einiges über die auf jenem Kongresse vertretene physikalische Sektion zu erfahren, wozu wiederum eine Nennung der Themen hinreichen dürfte, die in den allgemeinen und Spezialsitzungen der Sektionen behandelt wurden.

Die physikalische Sektion stand unter dem wechselnden Präsidium für die einzelnen Sitzungen erwählter Präsides; besonders lebhaften Anteil nahmen die Prof. Petruschewski, Borgmann, Chwolson, Goldhammer etc. Die meisten Sektionssitzungen fanden im Hauptauditorium des physikalischen Instituts statt. In Nebenräumen dieses Instituts wurden speziellere Vorträge und Demonstrationen geboten. Drei grosse Säle nahmen die überaus reichhaltige physikalische Ausstellung auf, an der sich von deutschen Firmen u. a. Zeiss, Kohl, Hugershoff, Hartmann & Braun, Siemens & Halske mit reichen Kollektionen optischer, elektrischer und sonstiger Instrumente beteiligt hatten. Ein Bild von der Thätigkeit der physikalischen Sektion wird sich der Leser aus folgender Aufzählung der wesentlichsten Vortragsthemen entnehmen können.

N. Schiller, Zur Thermodynamik der gesättigten Lösungen.

N. Piltschikow, Das Ionisationsfeld des Radiums; Aktinoelektrische Konvektion; Apparat zur anomalen Spiegelung.

N. Bulgakow, Magnetisierung eines dreiachsigen Ellipsoids in gegebenem äusseren Felde.

J. Borgmann, Experimente mit flüssiger Luft.

N. Mischkin, Bewegungen im elektrischen Felde.

A. Dobiasch, Der Moissansche elektrische Ofen.

D. Latschinow, Über das elektrische Feld der Atmosphäre.

M. Kossatsch, Zur Hageltheorie.

G. de Metz, Über zeitweilige Doppelbrechung in Flüssigkeiten.

W. Michelson, Die neuesten Studien zur Thermodynamik der strahlenden Energie.

W. Baljasni, Künstliche Tromben und Wirbel mittels Elektrizität.

N. Umow, Beziehungen zwischen den Koeffizienten im Ausdruck für das erdmagnetische Potential.

N. Mischkin, Bewegungen eines Körpers in einer Strömung der strahlenden Energie.

N. Hesehus, Einfluss der Temperatur auf die elektrische Differenz bei der Berührung; Elektrisierung von Staub.

W. Nikolajew, Das elektrische Feld der Elektrolyte; Elektromagnetische Reaktion.

P. Silow, Der Mechanismus der Voltaschen Säule.

N. Beketow, Über die Trennung der physiko-mathematischen Disziplinen an russischen Universitäten.

N. Selinski, Über elektrische Lichterscheinungen an organischen Substanzen bei der Temperatur der flüssigen Luft.

W. Baljasni, Ein Versuch bezüglich der Theorie des Ruhmkorffschen Induktors.

J. Borgmann, Elektrische Lichterscheinungen in Gasen.

W. Mitkiewicz, Über Symmetriestörung eines Wechselstroms.

A. Kusnezow, Über Verwendung eines synchronen Motors bei Messung der Phasendifferenz von Wechselströmen.

E. Rogowski, Äussere Wärmeleitung an Silberdrähten; Galvanische Deformation von Drähten.

W. Lebedinski, Das umgekehrte Sonnenspektrum; Wirkung des ultravioletten Lichts auf den elektrischen Funken.

A. Kolli, Neue Methode zur Erzeugung von elektrischen Wellen in Drähten; Die Dispersion elektrischer Wellen im Wasser.

K. Noischewski, Neuer Selenapparat.

A. Gerschun, Über einige Eigenschaften des kommutierten Wechselstroms.

J. Shuk, Elektrische Versuche.

J. Kossonogow, Anwendung Hertzscher Schwingungen auf das Studium der Dielektrika.

J. Michailenko, Durch Druck hervorgerufene Diffusionserscheinungen.

D. Goldhammer, Die gegenwärtigen Anschauungen über die Magnetisierung des Lichts.

N. Umow, Physiko-mechanisches Modell der lebenden Materie.

D. Goldhammer, Hundert Jahre der Physik.

N. Kasterin, Über akustischen Druck; Absolute Messung des Schalles durch Druck; Schallwellen in Luft von 0,8 Millimeter Wellenlänge. (Über 400000 Schwingungen.)

Über einen grossen Teil der genannten Vorträge und Mitteilungen brachte das Tageblatt (Dnewnik) des Kongresses kürzere oder längere Berichte, meist Autorreferate. Die ersten zehn Nummern dieser Zeitschrift erschienen täglich während des Kongresses und wurden den Teilnehmern kostenfrei zugestellt; die letzte, elfte Nummer gelangte im Mai zur Ausgabe. In ihr sind unter anderem einige der Vorträge in extenso wiedergegeben.

Von den für ein grösseres Publikum berechneten Demonstrationen, welche ausserordentlichen Beifall ernteten, seien hier erwähnt, ausser den oben genannten Versuchen mit flüssiger Luft und dem Moissanschen Ofen, die Experimente mit einem sehr grossen Kohlschen Induktor, neueren Röntgen- und Kathodenstrahlröhren, der Simonschen sprechenden Bogenlampe, dem Zeissschen Epidiaskop.

H. Pflaum.

(Eingegangen 19. August 1902.)

BESPRECHUNGEN.

F. Klein, Anwendung der Differential- und Integralrechnung auf Geometrie, eine Revision der Prinzipien. Vorlesung, gehalten während des Sommersemesters 1901. Ausgearbeitet von Conrad Müller. 4°, VIII u. 468 Seiten Autographie mit Figuren, Leipzig, in Kommission bei B. G. Teubner. 1902. Mk. 10,—

Weder Titel noch selbst das Vorwort lassen erkennen, in wie hohem Masse von diesen akademischen Vorlesungen auch für den Physiker ein res tua agitur gilt. Weite Kreise bedauern seit lange die Unfruchtbarkeit des von den Mathematikern einseitig bevorzugten Weierstrassianismus für konkret naturwissenschaftliche Probleme. Da ist es einem aus der Seele gesprochen, wenn Klein nach Erörterung der extremen Idealisierungsspekulationen von G. Veronese und Levi Cività zwar theoretisch dem Satze zustimmt: „die Mathematik kann treiben was sie will", aber dann die bedeutsame praktische Einschränkung hinzufügt, dass jeder, der über Freiheit verfügt, auch eine Verantwortung trägt und dass man nicht einen grossen Teil unsrer doch sehr beschränkten Arbeitsenergie ohne Not auf abstruse Dinge richten soll. Dieses Schlagwort sei herausgegriffen, um vorab auch Vorurteile zu zerstreuen, die der Physiker leicht Büchern entgegenbringt, in denen überhaupt von Mengenlehre und vom modernen Zahlbegriffe die Rede ist. —

Die Vorlesungen behandeln die gegenseitigen Beziehungen von Präzisionsmathematik und von Aproximationsmathematik. Letztere ist nicht eine aproximative Mathematik, sondern die Mathematik der für alle Anwendungen allein massgebenden approximativen Abhängigkeitsverhältnisse. Klein zeigt nun, wie eine klare erkenntnistheoretische Einsicht in diese Beziehungen von grossem Nutzen auch für die rein praktische Handhabung der Methoden ist, deren man sich bei den physikalischen Anwendungen bedient. Dass bei den Betrachtungen speziell die Geometrie in den Vordergrund gerückt ist, wird eher als wohlthätige Beschränkung empfunden werden. Einmal pflegen wir uns ja alle physikalischen Gesetze durch graphische Darstellung näher zu bringen, das heisst, wir denken sie als räumliche Gebilde; sodann werden in den Vorlesungen die analytischen und geometrischen Ausführungen in ausgiebigster Weise durch allgemeinere Exkurse über mathematische Naturerklärung belebt, so dass die Übertragung der Grundgedanken auf jedwedes Kapitel der Physik kaum Schwierigkeiten bereiten dürfte.

In der Einleitung über die Definition der realen unabhängigen Veränderlichen x wird unter anderen besonders betont, dass schon Unterschiede wie kommensurabel und inkommensurabel lediglich den Idealgebilden der Präzisionsmathematik angehören. In der astronomischen Praxis z. B. heisst kommensurabel meist nur das, was sich wie zwei kleine ganze Zahlen verhält.

Ausgangspunkt für alles weitere bildet eine nähere Ausführung der von Klein schon vor 30 Jahren skizzierten Ideen über den Funktionsbegriff in der empirischen Mathematik: Eine sogenannte empirische Kurve ist in Wirklichkeit immer ein „Funktionsstreifen" $y = f(x) + \varepsilon$ wo (ε) eine unbestimmte variable, eventuell wieder von x abhängig denkbare Grösse ist, die nur kleiner als der Schwellenwert der Beobachtungsunsicherheit sein muss. Legen wir den erfahrungsmässig allein gegebenen Funktionsstreifen populärerweise Attribute bei wie Zusammenhang, Richtung, Krümmung, so besagt das nicht nur: wir ersetzen die Gebilde von beschränkter Genauigkeit durch Gebilde $y = f(x)$, die mit Hilfe des modernen Zahlbegriffs unbegrenzt genau definiert sind, sondern wir nehmen mit unserem Postulate obendrein an, dass $f(x)$ zu den Funktionen gehört, die Klein mit Jakobi als „vernünftige Funktionen" bezeichnet. D. h. wir fordern durch Axiome für $f(x)$ Stetigkeit, endliche Anzahl von Maximis und Minimis in endlichem Intervalle, erste und höhere Differentialquotienten. Wir schliessen dagegen Dinge, wie die eingehend diskutierte Weierstrasssche Funktion ausdrücklich aus, obwohl sich solche Gebilde den begrenzt genauen empirischen Daten ebensogut anpassen liessen.

Angenäherte Darstellung vernünftiger Funktionen durch Polynome und durch endliche trigonometrische Reihen mit ihren beiderseitigen besonderen Eigentümlichkeiten; die Lagrangesche Inter- und Extrapolationsformel und die Taylorsche Formel als deren Grenzfall; praktische Bedeutung der unendlichen Reihen, obwohl sie in der Anwendung nie als solche zur Geltung kommen; Restabschätzung auf Grund des Theorems von Rolle; Beispiel des Logarithmentafelgebrauchs; mathematische Vorzüge der analytischen Funktionen; der harmonische Analysator; unendlich verlangsamte Konvergenz bei Annäherung an Unstetigkeitsstellen. Von diesen und verwandten Gegenständen werden die prinzipiell springenden Punkte in anschaulicher, virtuos pädagogischer Weise vorgetragen. Für das Studium der Einzelheiten werden reiche orientierende Litteraturhinweise gegeben. Besondere Berücksichtigung finden die Arbeiten Tschebycheffs des „Aproximationsmathematikers par excellence".

Aus dem Kapitel über Funktionen von zwei unabhängigen Veränderlichen mag besonders hingewiesen werden auf die Besprechung des „immerhin feinen Punktes" der azimutalen Stetigkeit im Gegensatze zur Stetigkeit schlechtweg. Als praktisches Beispiel einer uns durch die tägliche Beobachtung nahe gelegten idealen Fläche, für welche $\frac{d^2 f}{dx\,dy} \neq \frac{d^2 f}{dy\,dx}$ ist, wird ein Kreuzgewölbe betrachtet, wie es bei der Durchdringung zweier halbkreisförmiger Tonnengewölbe entsteht. Wesen und darstellende Kraft der Kugelfunktionen, ihre Wertverteilung über die Kugel hin, Fehlerabschätzung bei der abbrechenden Kugelfunktionenreihe mit Hinweis auf den Erdmagnetismus und die grundlegende Gausssche Abhandlung bilden den Abschluss des ersten Teils der Vorlesungen, der sich auf die Darstellung von Funktionen im rechtwinkligen Koordinatensysteme bezieht.

Ein zweiter Teil trägt die Überschrift: Freie Geometrie ebener Kurven.

In den präzisionsmathematischen Betrachtungen wird der Physiker hier daran erinnert, dass die Thomson Riemannsche „Methode der elektrischen Bilder" mit der Idee gesetzmässig unendlich fortschreitender geometrischer Konstruktionen und mit den durch sie gewonnenen unendlichen Punktmengen direkt in die Mengenlehre hineinführt. Unter diesem Gesichtspunkte verlieren dann auch Dinge wie die Peano-Kurve und die Jordanschen Bedingungen dafür, dass $x = \varphi(x)$; $y = \psi(x)$ die Ebene in zwei Teile teilt, den Anschein der Künstlichkeit und Willkürlichkeit.

Von den Betrachtungen über praktische Geometrie, Vermessungswesen und Zeichnen fesseln den Nichtfachmathematiker besonders: die Beispiele von Kurven gleicher Genauigkeit bei geometrischen Konstruktionen; die Bemerkungen über das historische Schicksal des typisch aproximationsmathematischen sogenannten Legendreschen Satzes, „die Winkel eines ebenen und eines „„kleinen"" sphärischen Dreiecks von denselben Seiten, unterscheiden sich um den dritten Teil des sphärischen Exzesses voneinander"; die Propaganda für eine in den letzten Dezennien vernachlässigte rationelle Differenzenrechnung; die Erörterungen über Geoidflächendefinition, wo den Differentialquotienten des Ideals auf der physischen Erde vielmehr Differenzenquotienten mit Differenzen von etwa 10 km Länge an die Seite gestellt werden müssen; endlich der Anhang „von der Versinnlichung idealer Gebilde durch Zeichnungen und Modelle". Bei dieser Gelegenheit wird dann nochmals die Fruchtbarkeit wechselseitiger Ergänzung von naiv anschaulicher und von exakt zahlentheoretischer Betrachtungsweise betont, ein Grundsatz, für den Klein ja schon seit einer Reihe von Jahren mit allem Nachdrucke nach beiden Seiten hin kämpft.

Gemäss ihrer erkenntnistheoretischen Natur hat die Unterscheidung von absoluter und beschränkter Genauigkeit, wie sie sich als roter Faden durch die ganze Vorlesung zieht, aber nicht nur eine praktische Seite, sondern zugleich eine metaphysische. Auch diese metaphysische Seite beleuchtet Klein in mehrfachen ausdrücklich als naturphilosophisch bezeichneten Abschweifungen. Es erscheint dies augenblicklich ganz besonders zeitgemäss; ja, für die meisten nicht zünftigen Leser dürfte das Hauptinteresse sich gerade diesen Exkursen über Naturphilosophie zuwenden. — Ostwald giebt Annalen der Naturphilosophie heraus; E. v. Hartmann veröffentlicht „die Weltanschauung der modernen Physik"; im ersten Bande des neuen grossen Handbuches der Elektrotechnik (Heinke) findet die erkenntnis-theoretische Seite des Gegenstandes — das Vorwort spricht von „religiös" — in einem Umfange Berücksichtigung, wie vor zehn Jahren noch undenkbar gewesen wäre. Solche Thatsachen kennzeichnet die heutige Neigung für Philosophie der Physik. Zum anderen liest man in Haeckels „Welträtseln": „Dagegen ist die Realität von Raum und Zeit jetzt endgültig bewiesen . . ." „der zweite Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie widerspricht dem ersten und muss aufgegeben werden". Das lehrt, welche Scholastik und welche Köhlerglaubennaivetät noch in Kreisen zu herrschen scheint, wo man sie nicht mehr erwarten sollte.

Um die Natur der von Klein behandelten philosophischen Fragen anzudeuten, seien folgende Punkte hervorgehoben. Da alle äussere Erfahrung, da jede physikalische Messung ungenau ist, so steht es mir völlig frei, nach Belieben entweder die Naturvorgänge auf bestimmte Klassen stetiger Funktionen, stetiger Variablen zu beziehen, oder als anderes Extrem den Weltverlauf in Raum und Zeit nach Art des Kinematographen als durchaus unstetig zu betrachten, die Atomistik sozusagen auch auf die Zeit auszudehnen. Metaphysik ist beides; beides liegt jenseits unmittelbarer Erfahrung. Einen Zirkelschluss bedeutet es darum auch z. B. etwa, nur analytische Funktionen bei der Naturbeschreibung zuzulassen und dann aus dem Bestimmtsein einer analytischen Kurve durch ein beliebig kleines Stück auf vollkommenen Determinismus zu schliessen.

Kommt aber unserem räumlichen und zeitlichen inneren Vorstellen nicht etwa die absolute Schärfe zu, die den äusseren Wahrnehmungen abgeht? Kleins Meinung ist: nein. Ihm hat auch das räumliche Vorstellen irgend welcher noch so vernünftiger Kurve einen Schwellenwert der Genauigkeit. Auch vorstellen könne

man sich nur Funktionsstreifen, keine exakten Linien. Mit Physiologen und Psychologen über das Problem in Diskussion zu treten, sei jedoch solange misslich, als diese Herren nicht einzelne Beispiele von Idealkurven ohne Differentialquotienten wie die Weierstrass-Kurve oder die Peano-Kurve durchdacht und sich zu eigen gemacht hätten. Die vorliegenden Vorlesungen Kleins dürften übrigens nach Ansicht des Referenten ein unvergleichlich bequemes Mittel sein, sich die grundlegenden Kenntnisse hierfür zu erwerben. Allerdings ist, wie Klein es ausdrückt, die Mathematik im Grunde die Wissenschaft von den selbstverständlichen Dingen. Aber auch mit Selbstverständlichkeiten hantieren will gelernt und geübt sein.

Von Kleins „durchaus agnostischem Standpunkte" aus „bleibt es fraglich, ob das Wesen einer richtigen Naturerklärung überhaupt auf präzisionsmathematischer Basis zu suchen ist, ob man je über eine geschickte Verwendung der Aproximationsmathematik hinausgelangen kann". Wie kommen wir da zur üblichen Aufstellung scharfer Funktionalabhängigkeitsverhältnisse $y = f(x)$, die wir nie empirisch prüfen, ja nicht einmal uns ideal vorstellen können? „Die genaue Formulierung der Naturgesetze durch einfache Formeln," sagt Klein, „beruht nur auf dem Wunsche, die äussere Erscheinung durch möglichst einfache Hilfsmittel zu beherrschen" (Machs Prinzip der Ökonomie des Denkens). Diese Antwort hat nichts Befremdliches. Ist doch in allen metaphysischen Dogmatiken kirchlicher und profaner Art die Erfüllung von Wünschen das Massgebende, obwohl dies so selten eingestanden wird. Th. Des Coudres.

(Eingegangen 16. August 1902.)

O. Wiener, Die Erweiterung unserer Sinne. Akademische Antrittsvorlesung. Mit Zusätzen und Litteratur-Nachweis. 8⁰. 43 S. Leipzig, Johann Ambrosius Barth. 1900. M. 1,20.

„So stellt sich denn jedes neue Instrument oder jede Zusammenstellung bekannter Instrumente zu neuem Zwecke vom entwicklungsgeschichtlichen Standpunkt aus dar als eine naturgemässe Fortentwicklung und Erweiterung unserer Sinne, als ein Fortschritt in der Anpassung an unsere Umgebung und ein Vorteil im Kampfe ums Dasein."

Das ist das Leitmotiv der in vieler Hinsicht erfreulichen und bemerkenswerten akademischen Antrittsvorlesung Wieners in Leipzig. Und Wiener versteht sein Thema zu modulieren. In allen Tonarten der physikalischen Wissenschaften zeigt er es uns, immer wieder mit eigenartiger Nuancierung, mit neuer geistreicher Auffassung; aber überall bleibt er auf dem festgefügten Boden der Thatsachen, zu denen er in sehr dankenswerter Weise reichhaltige Citatenbelege beifügt. Von psychophysikalischen Ausgangspunkten führt er uns bei jedem unserer Sinne an die unmittelbaren und dann an die bis jetzt erreichten mittelbaren Grenzen seiner Leistung und zeigt uns, wie die Aufgabe der Physik darin gipfelt, neue Sinne zu schaffen.

Dann im zweiten Teile die Frage: Was bedeutet diese Art der Sinneserweiterung für unsere Erkenntnis?

Zunächst der immer wieder wichtige Hinweis, dass der Sinn nur ein Zeichen für einen äusseren Reiz vermittelt, dass erst die Wahrnehmung die Beziehung zwischen einem inneren und einem äusseren Vorgang herstellt. Diese inneren Vorgänge aber sind das, was wir physikalische Theorien nennen, die „Anweisungen zu innerlichen Anpassungsvorgängen an äussere Vorgänge". Die klare entwicklungsgeschichtliche Art, wie Wiener diese Auffassung darstellt, erscheint sehr bemerkenswert. Die erwachten naturphilosophischen Neigungen der modernen Physik, die an sich ausserordentlich erfreulich sind, können klardenkende Männer, wie Wiener, wohl gebrauchen. Wie seine Physik durch diese biologische Auffassung von jeher eine lebendige, dem Bedürfnis eines physikalischen Weltbildes entsprossene Wissenschaft war, so ist hier seine Naturphilosophie eine echt physikalische, klar bewusst ihrer Grenzen und wahren Ziele. Was er in Anlehnung an seinen Vater Chr. Wiener und E. Mach über das Ding an sich bringt, wirkt befreiend: die „Behauptung der Philosophen, das Ding an sich sei unerkennbar, kommt auf dasselbe hinaus, wie diejenige, ein beziehungsloses Ding habe keine Beziehungen, oder ein nicht vorhandenes Ding könne nie gefunden werden". Ebenso sein Eifer gegen die Dubois Reymondschen ewigen Welträtsel: „es bedarf nur ausreichend unklarer oder widerspruchsvoller oder gegenstandsloser Begriffe oder auch der Vorschrift des Weges zur Lösung einer Aufgabe, der nicht dazu taugt, und das ewige Welträtsel ist fertig." H. Th. Simon.

(Eingegangen 15. August 1902.)

A. A. Michelson, Die Geschwindigkeit des Lichtes. (Sonderabdruck aus The university of Chicago, The Decennial Publications **9**, 9, 1902; auch Phil. Mag. **3**, (6), 330—337, 1902.)

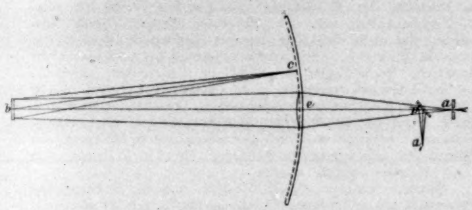
Der Verfasser unterzieht die bei der Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit nach den verschiedenen Methoden erhaltenen Werte in Bezug auf die erreichte Genauigkeit einer eingehenden Kritik und zwar, wie sie sich ergeben aus astronomischen Beobachtungen, bei der Bestimmung des Verhältnisses der elektromagne-

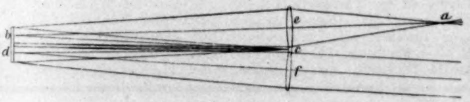
tischen zur elektrostatischen Einheit der Elektrizität, bei der Messung der Geschwindigkeit Hertzscher Wellen und den gebräuchlichen Methoden der direkten Messung.

Es wird sodann eine neue Methode zur direkten Messung angegeben, die als eine Kombination der Methoden von Foucault und Fizeau betrachtet werden kann.

Die beiden beigedruckten Figuren geben eine schematische Ansicht der Versuchsanordnung. Die Bezeichnungen sind die gleichen:

Das Licht geht aus von einem Spalte bei *a*, passiert die schwach versilberte Platte *p* und eine Linse *e* und fällt sodann auf die obere Hälfte des rotierenden Spiegels *b*. Von hier





wird es auf das Gitter *c* reflektiert, auf dessen Oberfläche ein Spaltbild entsteht; von da wird es nach der unteren Hälfte *d* des rotierenden Spiegels zurückgeworfen, der den Strahl durch die Linse *f* nach einem etwa 3 km entfernten Spiegel wirft, auf dessen Oberfläche ein zweites Spaltbild entsteht. Das Licht macht dann den gleichen Weg nach seinem Ausgangspunkte zurück. Ein Teil wird nach a_1 zur Okularbeobachtung gespiegelt.

Nach einer Diskussion der Genauigkeit, wie sie bei der Bestimmung der massgebenden Grössen erreichbar ist, glaubt der Verfasser bei einer Messung Werte für die Lichtgeschwindigkeit mit einem Fehler von höchstens 5 km erwarten zu dürfen. C. Fritsch.

(Eingegangen 22. Juli 1902.)

V. Häcker und G. Meyer, Die blaue Farbe der Vogelfedern. Zoologische Jahrbücher, Bd. 15, S. 267; 1901.

Das Rot und Gelb des Vogelgefieders sind Pigmentfarben, das Blau und teilweise auch das Grün dagegen Strukturfarben. In dem ersten, histologisch-physikalischen Teil dieser Arbeit untersuchen die Verfasser nun das Zustandekommen dieser letzteren. Nach Besprechung der bereits hierüber vorliegenden Litteratur zeigen sie, dass die blauen Federäste von aussen nach innen weisen: eine hornartige Rindenschicht, dann die Schicht der sogenannten Schirmzellen, und in der Tiefe eine Schicht von mit blauem Pigment erfüllten Markzellen. Die Schirmzellen sind dickwandige Kästchen, welche mit Luft gefüllt sind, ebenso auch feine Poren oder Kanäle, welche ihre Wand durchsetzen; sie erscheinen bei mikroskopischer Untersuchung im durchfallenden Lichte goldgelb, im auffallenden himmelblau; diese Erscheinung bleibt auch bestehen, wenn man sie mit Flüssigkeiten tränkt, welche einen niedrigeren Brechungsexponenten besitzen, wie Alkohol und Wasser, während solche mit höheren Brechungsexponenten, wie Kanadabalsam und Xylol, die Farberscheinung vernichten, solche mit ganz hohen, wie eine Mischung von Benzol und Schwefelkohlenstoff, sie wieder hervortreten lassen. Die Grundlage der Farbe ist also die Verschiedenheit des Brechungsexponenten der Kästchenwand von demjenigen der Luft, sowie ferner die geringe Dimension der Kanäle oder Wandporen, deren Durchmesser klein ist gegen die Wellenlänge des Lichtes; es werden infolgedessen nach den Gesetzen von Rayleigh bei der diffusen Reflexion des weissen Lichts die blauen Strahlen bevorzugt. Die Richtigkeit dieser Theorie bestätigten die Verfasser durch vergleichende Untersuchung der Reflexionsfähigkeit der blauen Federn und von weissem Papier mit dem Königschen Spektrophotometer: Ergebnisse und Konstanten siehe Original.

Der zweite, biologische Teil der Arbeit betrifft das Vorkommen der blauen Federfarbe und deren Stellung zu den übrigen Schmuckfarben: das Rot auf der einen und das Blau auf der andern bedeuten morphologisch und genetisch einen Fortschritt gegenüber den grünen und gelben Farben. Boruttau.

(Eingegangen 4. Juli 1902.)

W. Scheffer, Das Mikroskop, seine Optik, Geschichte und Anwendung, gemeinverständlich dargestellt. (Aus Natur und Geisteswelt, Sammlung wissenschaftlich-gemeinverständlicher Darstellungen aus allen Gebieten des Wissens, 35. Bändchen). 8⁰, IV und 114 S. mit 66 Abbildungen im Text und einer Tafel. Leipzig, B. G. Teubner. 1902. Preis 1 Mk., geb. 1,25 Mk.

Diese „populäre", d. h. „für alle Gebildeten bestimmte" Darstellung des Mikroskops und der Mikroskopiertechnik ist im ganzen recht wohlgelungen und durch relative Reichhaltigkeit auf knappem Raume ausgezeichnet. Im ersten

Kapitel sind die optischen Grundgesetze (Lichtbrechung, Linsen) kurz behandelt, das zweite giebt wesentlich eine Geschichte des älteren „einfachen" Mikroskops) nachdem hier am Schlusse die sphärische und chromatische Aberration erwähnt, ist im dritten vom Strahlengang im zusammengesetzten Mikroskop die Rede, im vierten das „moderne Mikroskop" nebst seinen verschiedenen Konstruktionsteilen und Nebenapparaten behandelt; das fünfte bespricht die „Abbildung mikroskopischer Objekte" — Zeichnen, Zeichenapparate, Mikrophotographie —, die Vergrösserung und Messung mikroskopischer Objekte, das letzte endlich die Mikrotechnik, speziell Schneidetechnik, Mikrotome und Messer, kurze Erwähnung der Färbetechnik. Natürlich war auch — der Fehler der meisten derartig kurzgehaltenen populären Darstellungen — nicht zu vermeiden, dass vieles einerseits gar zu dürftig oder gar zu elementar ausfallen musste (das optisch-theoretische), auf anderes dagegen viel zu detailliert und gründlich eingegangen wurde (Kritik der Mikrophotographie, neues Zeisssches Stativ); indessen soll diese Bemerkung dem eingangs gespendeten Lobe durchaus keinen Eintrag thun; das Werkchen ist anregend geschrieben und vortrefflich ausgestattet; ja durch manche wertvolle Bemerkungen und Winke, sowie am Schlusse durch den Hinweis auf grössere, zum Teil nicht genügend bekannte Spezialwerke über Mikroskopie sogar geeignet, dem mikroskopierenden Fachmann (Mediziner, Zoologen, Botaniker) einen Dienst zu erweisen.

Boruttau.

(Eingegangen 4. Juli 1902.)

Eingegangene Schriften.

(Eingehende Besprechung vorbehalten.)

Encyklopädie der Photographie. Heft 42. Mercator, C., Die Ferrotypie. Anleitung zur Ausübung der verschiedenen älteren und modernen Ferrotypverfahren auf Kollodion, Kollodionemulsion und Bromsilbergelatine mittels Tages- und Blitzlicht. 8. VII u. 58 S. 1902. Halle a. S., Wilhelm Knapp. M. 2,—.

Gerber, Paul, Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Gravitation. (Programm des städtischen Realprogymnasiums [in Umwandlung zur lateinlosen Realschule], Stargard in Pommern.) 4. 25 S. 1902. Stargard, gedruckt bei F. Hendess.

Heilbrun, Richard, Elementare Vorlesungen über Telegraphie und Telephonie. Mit zahlreichen in den Text gedruckten Abbildungen. 1. Lieferung. 64 S. Vollständig in etwa 5 Lieferungen. gr. 8. 1902. Berlin, Georg Siemens. M. 1,60.

Tagesereignisse.

Auf eine Anregung der unlängst in Strassburg abgehaltenen Versammlung für Erdbebenforschung hat die deutsche Reichsregierung bei anderen Mächten anfragen lassen, ob sie geneigt sind, an der Begründung eines internationalen Instituts für Erdbebenforschung teilzunehmen. Der Erfolg des Unternehmens kann schon für gesichert gelten, da die französische Akademie der Wissenschaften ihre Teilnahme beschlossen hat und da auch die englischen Vertreter dringend eine solche Anstalt wünschen. Alles weitere wird erst festgesetzt werden können, wenn die Antworten aller Regierungen eingelaufen sind.

Personalien.

(Die Herausgeber bitten die Herren Fachgenossen, der Redaktion von eintretenden Änderungen möglichst bald Mitteilung zu machen.)

Der a. o. Professor für allgemeine Maschinenkunde, Eisenbahnvertriebsmittel und Maschinenzeichnen an der Technischen Hochschule in Wien, Richard Engländer, ist zum o. Professor für Maschinenbau an der genannten Hochschule, der Privatdozent an der Technischen Hochschule in Berlin-Charlottenburg, Regierungsbaumeister Max Buhle, zum a. o. Professor für Maschinenelemente und Hebemaschinen in der mechanischen Abteilung der Technischen Hochschule zu Dresden, der Privatdozent an der Universität München, D. Döhlemann, zum a. o. Professor für darstellende Geometrie, der a. o. Professor an der Universität Leipzig, Dr. phil. B. Rassow, zum etatmässigen a. o. Professor für chemische Technologie an derselben Universität (an Stelle des in Ruhestand tretenden a. o. Professors Dr. phil. Weddige), der Assistent an der deutschen Seewarte in Hamburg, Dr. J. B. Messerschmitt, zum Observator des erdmagnetischen Observatoriums bei der Sternwarte in München, der Privatdozent der Chemie in Freiberg, Dr. Th. Döring, zum a. o. Professor ernannt worden.

Berufen wurden: Dr. E. Cohen von der Amsterdamer Universität als o. Professor für anorganische und physikalische Chemie an die Universität Utrecht, Dr. Rudolf Weinland, Privatdozent für Chemie an der Universität München und erster Assistent am Laboratorium für angewandte Chemie, als a. o. Professor für pharmazeutische Chemie an die Universität Tübingen, der o. Professor der Mathematik in Marburg, Dr. F. Schottky, als Nachfolger von Professor Fuchs nach Berlin.

Dem Privatdozenten der Physik an der Technischen Hochschule zu Berlin Dr. Gross, dem Dozenten der Elektrotechnik an der Technischen Hochschule in Aachen Dr. G. Rasch und dem Schriftsteller und Astronomen Dr. Hermann Klein in Köln a. Rh. wurden das Prädikat Professor verliehen.

Professor W. Wien hat den Ruf nach Leipzig abgelehnt.

Der Observator des erdmagnetischen Observatoriums bei der Sternwarte in München, Dr. Walter Villiger, wurde auf Ansuchen seiner Stelle enthoben.

Am 20. Juli starb in Spezia der Professor der Physik a. D. und langjähriger Direktor des Nuovo Cimento Dr. Riccardo Felici im Alter von 83 Jahren, in Zarskoje Sselo Mag. J. W. Klever, ehemaliger Dozent der Pharmazie und Chemie am Veterinär-Institut zu Dorpat, im Alter von 82 Jahren, in Budapest der Oberbibliothekar der Ungarischen Akademie der Wissenschaften, Dr. A. Heller, 59 Jahre alt, in Zürich der frühere Universitätsprofessor und Direktor des Physikalischen Centralobservatoriums in Petersburg, Staatsrat Heinrich von Wild, im Alter von 69 Jahren, in Aachen der Professor der Chemie an der Technischen Hochschule, Dr. Stahlschmidt, in Burgsteinfurt am 14. September der Professor der Mineralanalyse an der Berliner Bergakademie und Direktor der kgl. chemisch-technischen Versuchsanstalt Geh. Bergrat Prof. Dr. Rudolf Finkener, 68 Jahre alt.

Gesuche.

Volontair gesucht.

Physiker mit technischen Fähigkeiten findet **Volontairstelle** in technischem Bureau. Offerten mit Lebenslauf und Bildungsgang unter **G. B. 927** an Annoncenexpedition **Anton Steiner, Berlin** SO., Brückenstr. 8.

Für die Redaktion verantwortlich Professor Dr. H. Th. Simon in Göttingen. — Verlag von S. Hirzel in Leipzig.
Druck von August Pries in Leipzig.

PHYSIKALISCHE ZEITSCHRIFT

No. 1b. 10. Oktober 1902. 4. Jahrgang.
Redaktionsschluss für No. 3 am 22. Oktober 1902.

INHALT.

74. Versammlung deutscher Naturforscher u. Ärzte zu Karlsbad, vom 21. bis 27. September 1902. S. 25.
Vorträge und Diskussionen von der 74. Naturforscherversammlung zu Karlsbad:
L. Grunmach: Neue experimentelle Bestimmungen der Oberflächenspannung von Flüssigkeiten durch Messung der Wellenlänge der auf ihnen erzeugten Kapillarwellen. S. 26.
E. Lecher: Schirmwirkung der Gase gegen elektrische Schwingungen. S. 32.
E. Warburg: Über leuchtenden elektrischen Wind. S. 39.
K. Schaum: Über den photographischen Negativprozess. S. 40.
J. Billitzer: Kolloidale Metalle. S. 41.
E. Grimsehl: Über den Voltaschen Fundamentalversuch. S. 43.
J. Traube: Beitrag zur Theorie von van der Waals. S. 50.
W. Marckwald: Das radioaktive Wismut (Polonium) (mit Demonstrationen). S. 51.
W. Kaufmann: Die elektromagnetische Masse des Elektrons. S. 54.
M. Abraham, Prinzipien der Dynamik des Elektrons. S. 57.
J. Puluj, Über den Schutz der Telephonstationen gegen die Gefahren der hochgespannten Starkströme und über Mitbenützung von Starkstromleitungen für telephonische Zwecke. S. 63.
O. v. Miller, Die Naturkräfte im Dienste der Elektrotechnik. S. 65.
M. Wien, Über die Empfindlichkeit des menschlichen Ohres für Töne verschiedener Höhe. S. 69.
R. Straubel, Zusammenhang zwischen Absorption und Auflösungsvermögen. S. 74.
M. Wien, Demonstration eines mechanischen Modelles zu der Braunschen Methode der Telegraphie ohne Draht. S. 76.
M. Grübler, Zur Festigkeit spröder Körper. S. 78.
J. Billitzer, Bericht über die Sitzungen der Abteilung 4 (Chemie einschliesslich Elektrochemie). S. 79.

74. Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte zu Karlsbad, vom 21. bis 27. September 1902.

Wenn wir Physiker gar manchmal darüber klagen konnten, dass uns auf den Naturforschertagen die unter den Ärzten naturgemäss zahlreichen Amateurteilnehmer den Platz versperrten, so dürfen wir den Medizinern diesmal den Dank auch nicht vorenthalten für die glänzende Bewirtung, die wir in ihrem Gefolge in Karlsbad gefunden haben. Denn den Ärzten vor allem galt das prächtige und geschmackvolle Festgewand der Stadt, galt die prunkvolle Festgabe der beiden schier 5 kg schweren schönen Festschriftbände, galt das Freifrühstück am 24. auf der alten Wiese, galt die feenhafte Festbeleuchtung am 25. abends mit der fürstlichen Büffetbewirtung, deren flüssiger Teil mit dem Karlsbader Sprudel an Ergiebigkeit siegreich wetteiferte. Dass alle Teilnehmer Freiquartiere und alles Mögliche sonst zu freiem Genuss hatten, sei nicht vergessen dankbar zu erwähnen.

Solche äussere Behaglichkeit verbunden mit dem allersonnigsten Sonnenschein erhöhte sicherlich die Stimmung und Frische zu den wissenschaftlichen Tagungen. Indessen ward die Meinung viel gehört, dass man mit rauschenden Festen bei diesen wissenschaftlichen Kongressen allmählich des Guten ein wenig zu viel thue. Wäre es nicht vielleicht dem wissenschaftlichen Zwecke der Versammlung entsprechender, die Unsummen, die so für äusseren Glanz aufgewendet werden, zur Bereicherung des inneren Glanzes zur Verfügung zu stellen? An wissenschaftlichen Bedürfnissen und Aufgaben fehlt es ja nicht, zu denen mit ihren grossen Mitteln beizutragen für die gastgebenden Städte ein schönerer Ruhmestitel wäre, als ein noch so opulentes Büffet.

Ja, das Büffet! — Diese Schlachten um belegte Brote und gefüllte Gläser haben gerade auf solchen Versammlungen der Intelligenz etwas ungemein Unwürdiges. Man muss anerkennen, dass es in Karlsbad relativ menschlich dabei zuging. Trotzdem sollte man diese leider stets von sehr vielen ausgenützte Gelegenheit, sich von ihrer allzumenschlichen Seite zu zeigen, ein für allemal vermeiden, wo es nicht, wie im vergangenen Jahre im Hamburger Rathaus, angeht, jedem seinen festen Platz anzuweisen, an dem er bedient wird.

Zu den Bedürfnissen, die bisher noch fast bei keiner Naturforscherversammlung erfüllt worden sind, gehört die Beschaffung einer genügend grossen Festhalle mit guter Akustik, in der für alle Teilnehmer Gelegenheit ist, den allgemeinen Sitzungen beizuwohnen. Damit war es in Karlsbad besonders schlecht bestellt, so dass die meisten der allgemeinen Vorträge vor relativ kleinem Publikum gehalten wurden. Freilich müsste auch die „Akustik" der Redner entsprechend ausgewählt werden.

Unter den Vorträgen der allgemeinen Sitzungen war von besonderem physikalischen Interesse der am 22. von Professor Voller (Hamburg) gehaltene Vortrag über drahtlose Telegraphie, verbunden mit Demonstrationen des Braunschen und Slabyschen Systems. Leider hat sich der Vortrag auf eine populäre Darlegung der Systeme an sich beschränkt und darauf verzichtet, durch eine streng kritische Sichtung der prinzipiellen wissenschaftlichen Fortschritte jedes Systems einmal Klarheit in den Nebel der öffentlichen Meinung zu bringen. Sonst hätte Marconi lebhafter genannt werden müssen, und Braun und Slaby wären weniger sorgfältig gegeneinander ausbalanziert worden. Die hier versäumte Gelegenheit wurde in einer Diskussion der physikalischen Abteilung nach Kräften nachgeholt.

In der physikalischen Abteilung, die leider relativ wenige (ca. 30) Teilnehmer zählte, herrschte in und ausser den Sitzungen angeregtes Leben.

Folgende Vorträge wurden gehalten und meist lebhaft diskutiert:

Am 22. Sept. Nachmittags unter dem Vorsitz von Hofrat Professor Dr. Edler v. Lang (Wien):

1. Leo Grunmach (Berlin): Neue experimentelle Bestimmungen der Oberflächenspannung von Flüssigkeiten durch Messung der Wellenlänge der auf ihnen erzeugten Kapillarwellen.
2. Lecher (Prag): Schirmwirkung der Gase gegen elektrische Schwingungen.
3. Warburg (Berlin): Über leuchtenden elektrischen Wind.

Am 23. Sept. vormittags (gemeinsam mit der chemischen Abteilung 4) unter dem Vorsitz von Geheimrat Professor Dr. E. Warburg (Berlin):

1. Schaum (Marburg a. L.): Über den photographischen Negativprozess.
2. Billitzer (Wien): Kolloidale Metalle.
3. Grimsehl (Hamburg): Über den Voltaschen Fundamentalversuch.
4. Traube (Berlin): Beitrag zur Theorie von van der Waals.
5. Marckwald (Berlin): Das radioaktive Wismut (Polonium) (mit Demonstrationen).

Am 23. Sept. nachmittags (gemeinsam mit der mathematischen Abteilung 1) unter dem Vorsitz von Professor Dr. F. Meyer (Königsberg):

1. Archenhold (Treptow): Eine neue Darstellung des Einflusses der Sonnenflecke auf die Erdatmosphäre.
2. Kaufmann (Göttingen): Die elektromagnetische Masse des Elektrons.
3. Abraham (Göttingen): Prinzipien der Dynamik des Elektrons.

Am 24. Sept. nachmittags unter dem Vorsitz von Professor Dr. Voller (Hamburg):

1. Dwelshauvers-Dery (Lüttich): Eine neue Theorie der Wimshurstschen Maschine.
2. Derselbe: Über einen besonderen Fall von Induktion.
3. Wien (Aachen): Über die Empfindlichkeit des menschlichen Ohres für Töne verschiedener Höhe.
4. R. Straubel (Jena): Zusammenhang zwischen Auflösungsvermögen und Absorption.
5. Derselbe: Über einen allgemeinen geometrischen Satz der Optik und dessen Anwendung.

Am 25. Sept. nachmittags unter dem Vorsitz von Professor Dr. E. Lecher (Prag):

1. Dessauer (Aschaffenburg): Über Regulierung der Durchdringungskraft der X-Strahlen durch Variation des Ladungspotentials der Anionen.
2. H. v. Schrötter (Wien): Demonstration eines Apparates zur Bestimmung der chemischen Lichtintensität.
3. Kotzauer (Wien): Ursächliche Entwicklung der Naturerscheinungen und die Entwicklung derselben im Weltall aus zwei Grundstoffen.
4. Voller (Hamburg): Demonstration der Slabyschen und Braunschen Apparate zur Wellentelegraphie.
5. Wien (Aachen): Demonstration eines mechanischen Modelles zur Braunschen Methode der Wellentelegraphie.
6. Straubel (Jena): Demonstration eines Interferenzmessapparates.

Zum Versammlungsort der nächstjährigen Tagung ist Kassel bestimmt worden.

Anschliessend an den Kongress war eine Ausstellung von physikalischen und medizinischen Apparaten veranstaltet, unter denen die Abteilung Zeiss-Jena durch eine Fülle prächtiger Stücke weit hervorragte. Hervorzuheben sei aus dem Vielen hier der epidiaskopische Projektionsapparat, der in seinen vortrefflichen Leistungen vorgeführt wurde, ferner der Interferenzmessapparat, den Prof. Straubel-Jena in der letzten Abteilungssitzung demonstrierte.

Auch sonst war manches Gute zu sehen, meist von mehr medizinischem Interesse. H. Th. Simon.

VORTRÄGE UND DISKUSSIONEN[1]) VON DER 74. NATURFORSCHERVERSAMMLUNG ZU KARLSBAD.

Leo Grunmach (Berlin): Neue experimentelle Bestimmungen der Oberflächenspannung von Flüssigkeiten durch Messung der Wellenlänge der auf ihnen erzeugten Kapillarwellen.

Bei den Kapillaritäts-Untersuchungen, welche in den letzten beiden Dezennien von der Normal-Eichungs-Kommission im Anschluss an ihre aräometrischen Fundamentalversuche ausgeführt worden sind, um bei der Feststellung der deutschen Urnormale die von den Kapillaritätserscheinungen herrührenden Unsicherheiten in aller Strenge zu berücksichtigen, war ausschliesslich die Steighöhenmethode zur Anwendung gekommen, bei welcher die Kapillarkonstante einer Flüssigkeit bestimmt wird aus der Höhe, bis zu welcher sie in einer Kapillarröhre von bekannter Weite ansteigt. Bei der erhöhten Bedeutung, welche die sichere Kenntnis der Kapillarkonstanten in neuerer Zeit infolge der Untersuchungen von van der Waals, von Eötvös, Ramsay und Shields u. a. für die Molekularphysik gewonnen hat, erschien es deshalb wünschenswert und wichtig, noch eine zweite Messungsmethode zur Anwendung zu bringen, welche unabhängig von jeder Annahme über die Grösse des Randwinkels und unabhängig von der Natur und der Benetzungsart der Gefässwände überdies auch noch da mit Erfolg anwendbar zu sein schien, wo die Steighöhenmethode fast oder ganz versagt, nämlich, wenn es sich um die Untersuchung zäherer Flüssigkeiten, wie konzentrierterer Zuckerlösungen, konzentrierterer Glycerin- oder Schwefelsäure-Mischungen u. s. f., handelt. Als solche Methode erschien die Kapillarwellenmethode besonders geeignet, bei welcher die Kapillarkonstante einer Flüssigkeit bestimmt wird aus der Wellenlänge der Kapillarwellen, die auf der Flüssigkeitsoberfläche durch Schwingungen bekannter Periode, am besten durch die Schwingungen einer mit Spitzen versehenen Stimmgabel, erzeugt werden können. Eine kurze Mitteilung der nach dieser Methode bei der Normal-Eichungs-Kommission während der letzten Jahre von mir ausgeführten Untersuchungen und deren Ergebnisse, welche in den soeben erschienenen „Wissenschaftlichen Abhandlungen der Kais. Normal-Eichungs-Kommission" Heft III, S. 101—198 in extenso veröffentlicht worden sind, soll den Gegenstand meines Vortrags bilden.[1])

Allgemein erhält man für die Oberflächenspannung die Gleichung

$$\alpha = \frac{1}{2\pi}\sigma n^2 \lambda^3 - \frac{g\lambda^2\sigma}{4\pi^2} \text{ dynen/cm,}$$

beziehungsweise

$$\alpha = \frac{1}{2\pi g}\sigma n^2 \lambda^3 - \frac{\lambda^2\sigma}{4\pi^2} \text{ gramm/cm.}$$

1) Die Diskussionen sind im Auftrage der Physik. Zeitschr. von Dr. B. Borchardt (Charlottenburg) mitstenographiert und den Beteiligten zur Durchsicht vorgelegt worden.
Die Redaktion.

1) L. Grunmach, Wissenschaftl. Abhandl. der Kais. Normal-Eichungs-Kommission, Heft III, S. 101—198, Berlin 1902. Verfasser hat die Methode auch zur Bestimmung der Oberflächenspannung von geschmolzenen Metallen, sowie von verflüssigten Gasen angewendet. Vergl. L. Grunmach, Verhandl. d. Deutsch. Physikal. Gesellsch. 1, Nr. I, p. 13, 1899; Annal. d. Phys. IV, Band 3 S. 659, 1900; ferner L. Grunmach, Sitzungsber. d. Akad. d. Wissensch. zu Berlin, Gesamtsitzung vom 26. Juli 1900; Annal. der Phys. IV, Band 4, S. 367, 1901 und L. Grunmach, Sitzungsber. d. Akad. d. Wissensch. zu Berlin, Gesamtsitzung vom 25. Juli 1901; Annal. d. Phys. IV, Bd 6, S. 559, 1901.

Hierin bedeuten g die Erdbeschleunigung, n die Schwingungszahl pro Sekunde, σ die Dichte der Flüssigkeit und λ die Wellenlänge in cm.

Bei Anwendung von Stimmgabeln hoher Schwingungszahl ist das zweite Glied nur von geringem Einfluss auf den Wert von α.

Um eine Vorstellung von dem Einfluss und der Grösse des von der Schwere herrührenden Korrektionsgliedes $\frac{\lambda^2 \sigma}{4 \pi^2}$ zu gewinnen, seien einige numerische Werte desselben in gramm/cm, wie sie sich bei Anwendung der benutzten Stimmgabeln von 157, beziehungsweise 253 Schwingungen pro Sekunde für Quecksilber, Wasser und Alkohol ergeben, hier mitgeteilt:

und dass bei Anwendung einer Stimmgabel von 253 Schwingungen in der Sekunde die Genauigkeit der Bestimmung der Oberflächenspannung beeinflusst wird

		bei Quecksilber,	bei Wasser
durch einen Fehler	$\partial n = 1$	um etwa 0,8 Proz.	0,8 Proz.
„ „	$\partial \lambda = 0{,}01$ mm	„ 2,0 „	1,5 „
„ „	$\partial \sigma = 0{,}001$	„ 0,01 „	0,1 „

Man erkennt hieraus, dass die Genauigkeit der Bestimmung der Oberflächenspannung vorzugsweise von der Sicherheit abhängig ist, mit welcher die Schwingungsanzahl der erregenden Stimmgabel bekannt ist, und von der Genauigkeit, mit welcher die Wellenlänge der Kapillarwellen gemessen werden kann.

Quecksilber $\sigma = 13{,}552$	Wasser $\sigma = 0{,}999$	Alkohol $\sigma = 0{,}796$
für[1]) $\lambda = 0{,}209$ cm ist $\frac{\lambda^2 \sigma}{4 \pi^2} = 0{,}0150$ g/cm	für $\lambda = 0{,}272$ cm ist $\frac{\lambda^2 \sigma}{4 \pi^2} = 0{,}0019$ g/cm	für $\lambda = 0{,}186$ cm ist $\frac{\lambda^2 \sigma}{4 \pi^2} = 0{,}0007$
„ $\lambda = 0{,}200$ „ „ „ $= 0{,}0137$ „		
„ $\lambda = 0{,}154$ „ „ „ $= 0{,}0081$ „		
„ $\lambda = 0{,}143$ „ „ „ $= 0{,}0070$ „	„ $\lambda = 0{,}193$ „ „ „ $= 0{,}0009$ „	„ $\lambda = 0{,}138$ „ „ „ $= 0{,}0004$

1) Diese Werte von λ entsprechen den beobachteten Grenzwerten der Wellenlängen bei Anwendung der beiden Stimmgabeln.

Da in der Gleichung für die Oberflächenspannung die Schwingungsanzahl in der zweiten und die Wellenlänge in der dritten Potenz vorkommt, so hat eine Unsicherheit in der Bestimmung dieser beiden Grössen eine zweimal, beziehungsweise dreimal so grosse Unsicherheit in der Bestimmung der Oberflächenspannung zur Folge. Um numerisch den Einfluss festzustellen, welchen die Unsicherheit in der Kenntnis der Schwingungsanzahl, beziehungsweise der Wellenlänge oder der Dichte der zu untersuchenden Flüssigkeit auf die Genauigkeit der Bestimmung ihrer Oberflächenspannung hat, differenziere man die Gleichung

$$\alpha = \frac{n^2 \lambda^3 \sigma}{2 \pi}$$

der Reihe nach partiell nach n, beziehungsweise nach λ und nach σ.

Nimmt man dann an, dass die Unsicherheit in der Bestimmung von n eine Schwingung in der Sekunde, in der Bestimmung von λ 0,01 mm und in der Bestimmung von σ eine Einheit der dritten Dezimale betrage, so ergiebt sich, dass bei Anwendung einer Stimmgabel von 157 Schwingungen in der Sekunde die Genauigkeit der Bestimmung der Oberflächenspannung beeinflusst wird

		bei Quecksilber,	bei Wasser
durch einen Fehler	$\partial n = 1$	um etwa 1,3 Proz.	1,3 Proz.
„ „	$\partial \lambda = 0{,}01$ mm	„ 1,4 „	1,1 „
„ „	$\partial \sigma = 0{,}001$	„ 0,01 „	0,1 „

Die Hauptanforderung, welche man an eine Stimmgabel zur Erzeugung bequem und sicher messbarer Kapillarwellen zu stellen hat, ist die, dass ihr Ton ein starker und möglichst lange andauernder ist. Auf die Dauer des Tönens sind aber nicht nur die Natur und die Behandlungsweise des Materials und die Dämpfung der Flüssigkeit, sondern auch Form und Dimensionen der Stimmgabel von grösstem Einflusse. Bei den in folgendem mitzuteilenden Versuchen kamen zwei von Herrn Mechaniker Hans Heele aus bestem Dannemora-Gussstahle hergestellte Stimmgabeln zur Verwendung, deren Maassverhältnisse sich nach vielen mit verschieden dimensionierten Stimmgabeln ausgeführten Vorversuchen als die günstigsten ergeben hatten.

Bei der ersten beträgt die Länge der Zinken 15 cm, die Breite des rechteckigen Querschnitts derselben 1,4 cm und die Dicke 0,7 cm. Der innere Abstand der unteren Zinkenenden beträgt 1,4 cm, der weiteste oben am Sattel 1,9 cm. In die unteren Flächen der Zinken, und zwar genau in die Mitten derselben, sind feine Gewinde gebohrt, in welche die beiden genau gleich langen (1,3 cm), mit Gewinden versehenen Stahlspitzen fest eingeschraubt sind. Sie liegen in einer Ebene, ihr Abstand beträgt abgerundet 2,05 cm. Die Schwingungsanzahl ist von der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt bestimmt und durch die Gleichung gegeben

$$n_t = 253{,}13 - 0{,}0025\,(t - 19^0{,}1) \pm 0{,}05.$$

Mit ihrem Stiel ist die Stimmgabel in einen starken prismatischen eichenen Halter von quadratischem Querschnitt unverrückbar fest eingeschraubt und wird bei den Versuchen in vertikaler Lage in einem Stative von folgender Form (Fig. 1) befestigt. Eine starke nivellierbare Grundplatte trägt zwei solide vertikale Säulen, welche durch zwei starke, parallele, in derselben Vertikalebene liegende horizontale Querbalken miteinander verbunden sind. In der Mitte dieser Querbalken befinden sich quadratische Öffnungen, welche genau gleichgross sind und vertikal untereinander liegen, so dass durch sie hindurch der quadratisch geformte Stimmgabelhalter mit sanfter Reibung geführt und durch zwei Druckschrauben festgeklemmt werden kann. Eine Feinverstellung der Stimmgabel in vertikaler Richtung kann mittels eines am oberen Ende des Stimmgabelhalters befindlichen Schraubengewindes bewirkt werden.

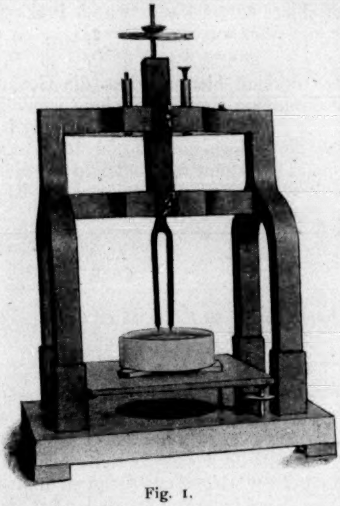


Fig. 1.

Bei der zweiten, grösseren Stimmgabel beträgt die Länge der Zinken bis zum Sattel 24 cm, der rechteckige Querschnitt derselben hat 2,6 cm Breite und 1,2 cm Dicke, der innere Abstand der Zinken ist am unteren Ende 0,7 cm, der weiteste am Sattel 1,8 cm. Anstatt der Stahlspitzen sind in die unteren Flächen, und zwar wieder in die Mitten derselben, auf das sorgfältigste gearbeitete Platinspitzen eingeschraubt, die in einer Ebene liegen, und deren Abstand 1,8 cm beträgt. Mit ihrem Stiele ist die Gabel wieder in einen sehr starken prismatischen Halter von gleichseitig dreieckigem Querschnitte fest eingeschraubt, welcher in einem dem vorhin beschriebenen ähnlichen, nur bei weitem stärker gebauten Stativ auf- und abbewegt und befestigt werden kann. Die Vertikalbewegung wird mittels Trieb- und Zahnstange bewirkt.

Die Schwingungsanzahl der grösseren Stimmgabel ist durch die Formel gegeben:

$$n = 156{,}94 - 0{,}016\,(t - 19) \pm 0{,}03.$$

Die zu untersuchenden Flüssigkeiten befanden sich in hinreichend tiefen und weiten Gefässen, um störende Einflüsse, welche durch Reflexion der Wellen an den Wänden, sowie durch Reibung an der Bodenfläche hervorgerufen werden könnten, auszuschliessen, und zwar anfänglich in einem cylindrischen Porzellangefäss, welches auf einer starken, durch drei Stellschrauben zu horizontierenden Eisenplatte ruhte, die auf die Grundplatte des Stativs aufgesetzt war (Fig. 1). Im Laufe der Versuche erwies sich indessen diese Aufstellung nicht ausreichend, um fremde störende Erschütterungen der Flüssigkeitsoberfläche auszuschliessen.

Durch die Schwingungen der erregenden Stimmgabel wurden nämlich Vibrationen des Stimmgabelstativs und also auch der Grundplatte hervorgerufen, die auch auf die Flüssigkeitsoberfläche störend einwirkten. Zur Beseitigung derselben wurde deshalb bei den späteren Versuchen in der Grundplatte des Stativs ein kreisförmiger Ausschnitt gemacht, durch welchen hindurchragend das Flüssigkeitsgefäss auf einem besonderen dreifussartigen Untersatze ruhte, sodass also Flüssigkeitsgefäss und Stimmgabelstativ, beide unabhängig voneinander, fest aufgestellt waren. Um schliesslich aber auch noch von gewissen, die Oberflächenspannung in hohem Masse beeinflussenden Nachwirkungserscheinungen unabhängig zu werden, welche zuerst von Herrn Quincke als „elastische Nachwirkung" bei Flüssigkeitsoberflächen bezeichnet und untersucht worden sind, und die darin bestehen, dass die Oberflächenspannung der Flüssigkeiten, wenn letztere mit der atmosphärischen Luft in Berührung stehen, mit der Zeit stark abnimmt, und zwar für verschiedene Flüssigkeiten um verschiedene Beträge, die bis zu 30 Prozent und mehr ansteigen, so ist als Flüssigkeitsgefäss, nach einer zuerst von Herrn Röntgen angegebenen Idee, ein Doppeltrichterapparat angewendet worden, welcher es ermöglicht, in jedem beliebigen Zeitmoment eine frische neue Flüssigkeitsoberfläche herzustellen und unmittelbar darauf, so zu sagen in statu nascendi, die Oberflächenspannung zu bestimmen.

In Fig. 2 und 3 sind zwei Formen des Doppeltrichterapparats dargestellt.

Der kleinere kam ausschliesslich bei den Versuchen mit Quecksilber zur Verwendung.

Ein Trichter, dessen oberer Rand genau eben geschliffen ist und genau horizontal gestellt werden kann, ist mit seinem Hals in den Hals eines ihn konzentrisch umgebenden weiteren Trichters eingeschliffen. In den Hals des ersten Trichters ist wieder eingeschliffen ein Konus, welcher den kürzeren Schenkel einer U-förmigen

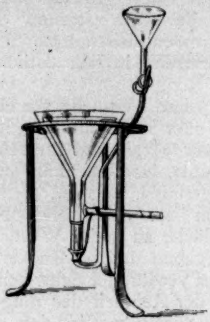


Fig. 2.

Glasröhre bildet, die nach oben abbiegt und in einen durch einen Hahn abzuschliessenden Trichter endigt, in welchen aus einem geeignet aufgestellten Behälter die zu untersuchende Flüssigkeit hineingeleitet wird. Bei den Messungen der anderen Flüssigkeiten wurde der grössere Apparat angewendet, welcher nach demselben Prinzipe konstruiert ist. Die zu untersuchende Flüssigkeit wird bei Anwendung des Pressluftballs D aus der Woolfschen Flasche F durch das dreimal rechtwinklig gebogene Steigrohr S, welches, wenn es mit Flüssigkeit angefüllt ist, wie ein Heber wirkt, unter Vermittelung zweier federnder Glasspiralen in die innere trichterförmige Schale T_1 geleitet, deren oberer Rand eben geschliffen ist. Durch die Hähne H_1 und H_2 kann der Zufluss reguliert, beziehungsweise abgeschlossen werden, während die über den Rand von T_1 überfliessende Flüssigkeit durch das seitlich am Halse des T_1 umschliessenden Trichtergefässes T_2 angeschmolzene Abflussrohr R abfliesst.

Das zur Messung der Wellenlängen benutzte Ablesemikroskop ist im Verlauf der Versuche mit mehrfachen Verbesserungen und Justierungsvorrichtungen versehen worden und hat schliesslich die durch Fig. 4 dargestellte, nach meinen Angaben von der Firma Schmidt & Hänsch ausgeführte Form gewonnen, in der es als Universalinstrument, als Ablesemikroskop oder -Fernrohr und als Kathetometer verwendet werden kann. Unmittelbar hinter dem Okular befindet sich der Mikrometerschlitten M, der zwei in derselben Ebene liegende Fa-

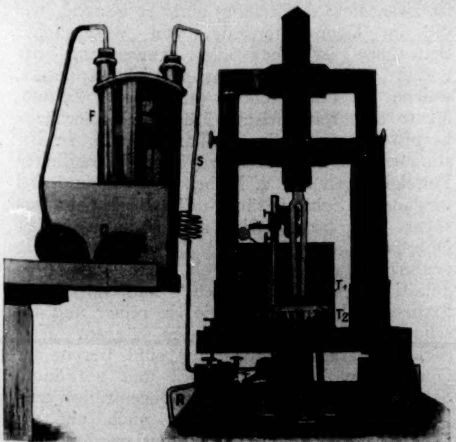


Fig. 3.

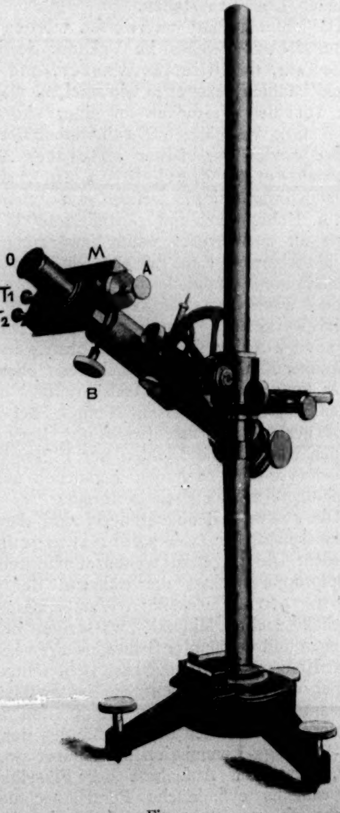


Fig. 4.

denkreuzpaare enthält, welche einzeln durch besondere Schrauben T_1 und T_2 relativ gegeneinander bewegt und in einer beliebigen gegenseitigen Entfernung, die im Maximum dem Abstande (2,05 cm) der beiden Stimmgabelspitzen entspricht, eingestellt werden können. Unabhängig von diesen Fadenkreuzpaaren lässt sich in einer zu ihrer Ebene parallelen und von ihr um die Fadendicke entfernten Ebene ein (dritter) vertikaler Spinnewebfaden mittels der feinen Mikrometerschraube A bewegen, welche an ihrem Ende mit einer in 100 Teile geteilten Messtrommel versehen ist. Mittels der Schraube B wird das Ablesemikroskop auf die richtige Sehweite eingestellt. Das Okular O kann durch eine Abbesche Autokollimationsvorrichtung ersetzt werden, welche es ermöglicht, mit Hilfe eines an der Stimmgabel zu befestigenden Planspiegels die optische Achse des Mikrometermikroskops senkrecht zur Stimmgabelachse und zu der durch die beiden Stimmgabelspitzen bestimmten Ebene zu stellen.

Der Untersuchung unterworfen worden sind Quecksilber, welches im Vakuum destilliert worden war, destilliertes Wasser, und zwar sowohl käuflich bezogenes wie solches, welches kurz vor den Versuchen in einer silbernen, innen stark vergoldeten Destillationsblase destilliert worden war, ferner absoluter Alkohol, wässerige Zuckerlösungen verschiedener Konzentration, welche aus chemisch reinem Rohrzucker und destilliertem Wasser hergestellt und hernach unter Erwärmung von der absorbierten Luft mittelst einer Wasserstrahlluftpumpe möglichst vollständig befreit worden waren, russisches Leuchtöl und amerikanisches Mineralöl und endlich wässerige Schwefelsäuremischungen verschiedener Konzentration, welche aus chemisch reiner konzentrierter Schwefelsäure und destilliertem Wasser in grossen Mengen bei möglichst geringer Wärmeentwickelung hergestellt worden waren. Die Dichten der Flüssigkeiten wurden vor und nach den Versuchen auf das sorgfältigste aräometrisch bestimmt.

Die gesamten Beobachtungen sind der Versuchanordnung gemäss in zwei Hauptgruppen zu teilen: Die erste, bei weitem umfangreichere Hauptgruppe umfasst die während der Jahre 1896 bis 1900 an Quecksilber, Wasser, absolutem Alkohol, Leuchtöl, Mineralöl, wässerigen Zuckerlösungen und verdünnter Schwefelsäure verschiedener Konzentration gemachten Beobachtungen.

Bei diesen Versuchen, die im grossen auf konstanter Temperatur zu erhaltenden Komparatorsaale des alten Dienstgebäudes der Normal-Eichungs-Kommission ausgeführt worden sind, diente zur Aufnahme der Flüssigkeiten die einfache cylindrische Porzellanschale, in welche die zu untersuchende Flüssigkeit entweder hineinfiltriert, wie z. B. Quecksilber, oder direkt aus den zur Aufbewahrung dienenden Flaschen hineingegossen wurde, so dass die Flüssigkeitsoberfläche eine verhältnismässig lange Zeit mit der atmosphärischen Luft in Berührung war, bevor mit den Messungen begonnen werden konnte. Die ganze Versuchsanordnung befand sich auf einer grossen starken Eichenholzplatte, die mit starken Eisenzwingen auf einer grossen Eisenplatte festgeklammert war, die ihrerseits in den östlichen isolierten Pfeiler des Komparatorsaales eingegipst war. Wenn auch diese Versuche für einige Flüssigkeiten trotz aller Mühe und Sorgfalt, die darauf verwendet wurde, sie und ihr Aufnahmegefäss rein zu erhalten, insofern nicht ganz zufriedenstellende Ergebnisse lieferten, als sie für Quecksilber wegen der „elastischen Nachwirkung" seiner Oberfläche zu kleine Werte der Kapillarkonstante ergaben und bei Zuckerlösungen und besonders bei verdünnter Schwefelsäure je nach dem Grade der Reinheit der umgebenden Luft grössere Abweichungen in den einzelnen Beobachtungsreihen zu Tage traten, so sind dieselben in der Originalabhandlung[1]) doch in extenso mitgeteilt worden, einmal um zu zeigen, was sich bei dieser Versuchsanordnung erreichen lässt, und dann im Gegensatze dazu die Vorzüge der bei der zweiten Hauptgruppe von Beobachtungen angewandten Versuchsanordnung erkennen zu lassen.

Die zweite Hauptgruppe umfasst die im Jahre 1901 ausgeführten Beobachtungen, bei welchen sich die Versuchsanordnung auf einer starken, durch eiserne Streben getragenen Wandkonsole im westlichen Eckzimmer der oberen Etage des neuen Dienstgebäudes der Normal-Eichungs-Kommission befand. Bezüglich der Stabilität ist zwar diese Aufstellung nicht so günstig, wie die im Komparatorsaale, von wesentlicher Bedeutung ist aber die Anwendung der vorhin beschriebenen Doppeltrichterapparate, welche es ermöglichen, in jedem Zeitmomente eine reine frische Flüssigkeitsoberfläche herzustellen und die Kapillarkonstante zu bestimmen, und bei nicht zu leicht beweglichen Flüssigkeiten, wie z. B. bei Wasser und bei verdünnter Schwefelsäure, die Beobachtungen sogar bei beständig sich erneuernder Oberfläche auszuführen, d. i. also vollständig unabhängig zu werden von den sogenannten „elastischen Nachwirkungen" und an Oberflächen zu beobachten, wie sie reiner und frischer nicht hergestellt werden können. Versuche mit dieser Anordnung sind bereits für Quecksilber, Wasser, Alkohol und verdünnte Schwefelsäure verschiedener Konzentration ausgeführt worden und werden auch auf die anderen Flüssigkeiten ausgedehnt werden.

1) L. Grumnach, l. c. S. 122—139; 147—152 u. ff.

Aus den mitgeteilten Versuchen ergiebt sich:

1. Für reines Quecksilber, und zwar unmittelbar nach Herstellung einer frischen Oberfläche bei ca. 18° C. für die Oberflächenspannung der Wert 0,50 g/cm, welcher aber sofort, wenn das Quecksilber mit der Luft in Berührung bleibt, herabsinkt und von Minute zu Minute kleiner wird, um sich nach etwa 15 bis 30 Minuten dem längere Zeit konstant bleibenden Werte 0,41 bis 0,40 zu nähern. Für Quecksilber, welches, vor Staub und gröberer Verunreinigung geschützt, in grösserer freier Oberfläche tagelang mit der atmosphärischen Luft in Berührung bleibt, sinkt der Wert bis auf etwa 0,33, also fast um 34 Proz. des Maximalwerts.

2. Für reines destilliertes Wasser, und zwar für eine ganz frische (beständig sich erneuernde) Oberfläche beträgt die Oberflächenspannung bei 17° C. 0,077 g/cm.

3. Für chemisch reinen absoluten Alkohol, welcher von atmosphärischer Luft abgeschlossen gewesen, beträgt die Oberflächenspannung für eine ganz frische, beständig sich erneuernde Oberfläche $0{,}019_5$ bei 22,8° C. (Dichte 0,7888), für absoluten Alkohol, dessen freie Oberfläche etwa $\frac{1}{2}$ Stunde lang mit der atmosphärischen Luft in Berührung bleibt, $0{,}021_3$ bei 18,4 C. und für absoluten Alkohol, der häufiger und längere Zeit mit der Luft in Berührung war und deshalb nicht mehr (wenn auch aräometrisch nicht nachweisbar) als wasserfrei angesehen werden kann, $0{,}026_7$ bei 17,7° C. Das stete Anwachsen der Zahl deutet darauf hin, dass der Alkohol durch Absorption der in der atmosphärischen Luft enthaltenen Feuchtigkeit allmählich an der Oberfläche wasserreicher wird.

4. Für verdünnte Schwefelsäure ergiebt sich folgende Tafel:

Prozent	Dichte	Halbe spezifische Kohäsion	Oberflächen-Spannung in g/cm	Temperatur
10	1,067	0,0723	0,0771	19,0
20	1,140	0,0687	0,0783	21,8
30	1,217	0,0650	0,0791	21,5
40	1,306	0,0615	0,0803	19,4
50	$1{,}392_4$	0,0597	0,0832	20,7

5. Für russisches Leuchtöl bei 15,3° C. (Dichte 0,821) beträgt die Oberflächenspannung 0,031 g/cm.

6. Für amerikanisches Mineralöl bei 15,4° C. (Dichte 0,756) beträgt die Oberflächenspannung 0,030 g/cm.

Die für wässerige Zuckerlösungen erhaltenen, in der Originalabhandlung mitgeteilten Werte sollen noch nicht als endgültige angesehen werden, da diese Flüssigkeiten bisher nur in dem einfachen Gefässe, welches die Herstellung einer reinen Oberfläche nicht genügend sicherte, untersucht worden sind und erst noch bei Anwendung des Doppeltrichterapparats untersucht werden sollen. Auch die Bestimmung der Temperaturkoeffizienten der Oberflächenspannung der vorher aufgeführten Flüssigkeiten soll noch einer besonderen Untersuchung vorbehalten bleiben. Der hauptsächliche Wert unserer Untersuchungsmethode besteht, wie nochmals besonders hervorgehoben sei, darin, dass sie es ermöglicht, in jedem Zeitmomente eine reine, absolut frische Oberfläche herzustellen und bei beständig sich erneuernder Oberfläche zu beobachten und deshalb vollständig unabhängig zu werden von dem zeitlichen Einflusse der Luft auf die Oberflächenspannung. Geradezu unentbehrlich ist sie für die Untersuchung von Flüssigkeiten, welche Wasser stark absorbieren, wie z. B. Schwefelsäure oder absoluter Alkohol, Schwefeläther etc.

Der einzige Einwand, der gegen die Methode erhoben werden, die einzige Fehlerquelle, die sie beeinflussen könnte, besteht darin, dass ein fremder, der Luft ausgesetzter Körper, nämlich die Stimmgabelspitzen, welche durch Absorption mit einer Lufthaut von grösserer oder geringerer Dicke behaftet sind, in die Flüssigkeit getaucht werden und deren Oberflächenspannung verändern können. So beschreibt Herr Fridtjof Nansen eine Reihe von exakten Versuchen, die er gelegentlich seiner Polarexpedition bei Untersuchungen über die Dichte des Meerwassers ausgeführt hat, aus denen hervorgeht, dass die Oberflächenspannung des Wassers beim Eintauchen von festen Körpern eine Änderung erfährt, und zwar vergrössert wird, wenn ein trockener Körper eingetaucht wird, weil dieser die vorhandene Wasserhaut an sich zieht und die Ausbildung einer neuen Haut bewirkt, dagegen verkleinert wird, wenn ein feuchter Körper eingetaucht wird, weil die auf ihm befindliche Flüssigkeitsschicht sich dann auf der Wasseroberfläche ausbreitet. Von Einfluss dürfte deshalb auch der Feuchtigkeitsgehalt der Luft sein, dessen ständige Beobachtung sich überhaupt bei Kapillaritätsbestimmungen empfiehlt. Auch von dieser kleinen Fehlerquelle würde man frei werden, und die Methode würde eine ideale werden, wenn es gelänge, ohne jede Vermittelung schwingender Spitzen, sondern nur auf dem Wege einfacher Resonanz sicher messbare Kapillarwellen auf Flüssigkeitsoberflächen zu erzeugen. Versuche nach dieser Richtung sind auch bereits in Angriff genommen.

(Selbstreferat des Vortragenden.)

Diskussion:

Warburg (Berlin): Wenn ich recht verstanden habe, so nimmt beim Quecksilber die Oberflächen-

spannung mit der Zeit ab, beim Alkohol dagegen zu. Das letztere geschieht wohl deswegen, weil der Alkohol aus der Luft Wasserdampf absorbiert?

Grunmach: Gewiss, die Zunahme der Oberflächenspannung des Alkohols, welcher längere Zeit an der Luft steht, deutet darauf hin, dass der Alkohol durch Absorption des in der Luft vorhandenen Wasserdampfes wasserreicher wird. Aräometrisch liess sich das aber nicht feststellen.

Warburg: Dass sich das aräometrisch nicht feststellen lässt, liess sich wohl erwarten; denn es handelt sich ja nur um eine ganz minimale Menge an der Oberfläche, welche aräometrisch nicht nachweisbar ist.

Grunmach: Da der Alkohol durch Wasseraufnahme spezifisch schwerer wird, könnte man annehmen, es würde dies vielleicht auch aräometrisch nachweisbar sein, aber die Versuche ergaben keine Zunahme der Dichte, so dass die Wasserzunahme in der That nur auf die Oberfläche beschränkt ist.

Straubel (Jena): In der Nähe eines Erregungscentrums sind nach der Theorie die Wellenlängen länger, als in einiger Entfernung von demselben. Das muss doch auch hier in der Nähe der eintauchenden Spitzen in erheblichem Maasse der Fall sein. Ich möchte fragen, ob der Vortragende auf diesen Punkt Rücksicht genommen, resp. etwas darüber festgestellt hat.

Grunmach: Jawohl, das verhält sich in der That so. In der Nähe der eintauchenden Spitzen, der Erregungscentren, erscheinen die Interferenzwellen zu gross. Man darf deshalb nicht unmittelbar in der Nähe der Stimmgabelspitzen, sondern erst an den in einiger Entfernung von denselben erscheinenden Kurven messen, abgesehen davon, dass auch die Interferenzkurven in der Nähe der Spitzen unscharf erscheinen. Ich stellte die Beobachtungen in der Regel etwa in $^1/_3$ der Entfernung der beiden Spitzen, und zwar symmetrisch zur Mitte, an.

Planck (Berlin): Ich möchte eine Frage wegen des Einflusses der Zähigkeit der Flüssigkeit stellen. Die Kelvinsche Formel enthält allerdings davon nichts; aber es lässt sich doch annehmen, dass die zähere Flüssigkeit eine kleinere Wellenlänge liefern würde bei gleicher Dichtigkeit und Schwingungszahl. Kann der Vortragende darüber vielleicht eine Mitteilung machen?

Grunmach: Nein, hierüber habe ich direkte Versuche nicht angestellt.

Nernst (Göttingen): Die Zähigkeit hat doch zunächst nur den Einfluss der Dämpfung; ist die Dämpfung mässig, so wird die Schwingungsdauer nur äusserst wenig beeinflusst.

Planck: Ich sollte denken, dass die Wellenlänge selbst beeinflusst wird von der Zähigkeit; denn in der zäheren Flüssigkeit ist die Reibung grösser, und theoretisch wird dadurch die Wellenlänge geändert bei gleicher Schwingungszahl, und hier ist doch die Schwingungszahl durch die Stimmgabel gegeben.

Grunmach: Ich denke, dass doch die Zähigkeit nur den Einfluss der Dämpfung haben wird. In zäheren Flüssigkeiten erlöschen die auf ihrer Oberfläche erregten Kapillarwellen schneller. Auf reinem Glycerin konnte ich mit den angewandten Stimmgabeln Kapillarwellen überhaupt nicht erregen, ebensowenig auf Olivenöl.

Planck: Wenn Wellen von bestimmter Schwingungsdauer sich fortpflanzen in einem Medium, so ändert sich durch die Reibung die Fortpflanzungsgeschwindigkeit, also auch die Wellenlänge. Prinzipiell wird man dagegen also nichts sagen können. Ich wollte nur fragen, inwieweit dies praktisch zu vernachlässigen ist, da mir die genauere Formel jetzt nicht gegenwärtig ist.

Nachträgliche Bemerkung des Vortragenden:

Zwei Flüssigkeiten von gleicher Dichte und gleicher Schwingungszahl, aber verschiedener Zähigkeit, würden doch ihrer Natur nach verschieden sein und demgemäss voraussichtlich auch verschiedene Kapillarkonstanten besitzen. Wenn sich daher für solche zwei Flüssigkeiten verschiedene Wellenlängen ergeben sollten, so brauchte diese Verschiedenheit nicht Folge der verschiedenen Zähigkeit zu sein, sondern würde in der Verschiedenheit der von der Natur der Flüssigkeiten abhängigen Kapillarkonstanten begründet sein.

E. Lecher (Prag), Schirmwirkung der Gase gegen elektrische Schwingungen.

Die ersten Versuche über Schirmwirkung verdünnter Gase gegen elektrische Schwingungen rühren wohl von J. Moser[1]) her. Unabhängig davon zeigte J. J. Thomson[2]) ein Jahr später, dass in einer von raschen Schwingungen umkreisten evakuierten Glasröhre leuchtende Ringe entstehen. Bei dieser Anordnung konnte J. J. Thomson elektrostatische Wirkungen durch einen passenden Schirm abblenden.

Der erste Anblick dieses Ringes drängt wohl leicht zum Glauben an einfache elektrostatische Ladungsströme. Dieser Meinung war z. B. Lodge, als er gleichzeitig mit J. J. Thomson dieselbe Erscheinung beschreibt.[3])

Vielleicht ist zur weiteren Bestätigung der ursprünglichen Thomsonschen Auffassung folgender einfache Versuch erwähnenswert. Ich wickelte um eine ausgepumpte Glasröhre (30 cm lang, Durchmesser 5 cm) eine bifilare Rolle *a* und eine gewöhnliche Rolle *b* von je 4 Windungen; *b* sei zur Erde abgeleitet. Durchfliessen nun diese

1) C. R. **110**, 397, 1890.
2) Phil. Mag. (5) **32**, 321, 335, 1891.
3) El. Eng. N. Y. 1. Juli 1891. Dagegen spricht sich auch aus E. C. Remington, Phil. Mag. (5) **35**, 506, 1893.

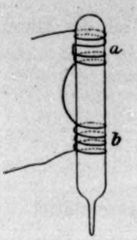


Fig. 1.

Drähte kräftige elektrische Schwingungen, so ist in *a* trotz der hohen Spannung des Drahtes die Lichtwirkung nur schwach, indes durch *b* ein glänzender Lichtring induziert wird.

Schon J. J. Thomson verwendete seine Anordnung zu einer Schätzung der elektrischen Leitfähigkeit von Gasen. Ich habe nun eine analoge Methode durchprobiert, deren wesentliche Einrichtung folgende war.

Durch einen Induktionsapparat (Schlagweite = 40 cm) wurde mit einem Primär-Wechselstrome (von 30 Ampère, 120 Volt und 46 Schwingungen per sec) ein hochgespannter Wechselstromlichtbogen *L* zwischen den Polen

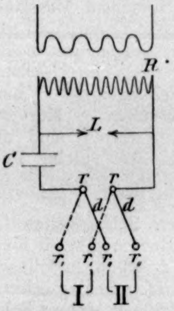


Fig. 2.

eines kräftigen Elektromagneten (in Fig. 2 nicht gezeichnet) erzeugt. Parallel zu *L* ist ein Kondensator *C* geschaltet. Diese Kondensatorschwingung kann mittels der Quecksilbernäpfchen *rr* und der Drahtbügel *dd* entweder über $r_{,}\ r_{,}$ durch ein System I oder aber über $r_{,,}\ r_{,,}$ durch ein System II geleitet werden.

Das System I dient als Normalsystem zur Kontrolle der Schwingungskonstanz und besteht aus einem Glasbecher von 12 cm Höhe und 5 cm Durchmesser. Aussen gehen um dasselbe 4 Windungen eines 3 mm dicken, gut isolierten Kupferdrahtes, dessen Enden dauernd je mit $r_{,}\ r_{,}$ verbunden sind. In der Mitte dieses Bechers ist konzentrisch ein schmälerer, von 2,5 cm Durchmesser befestigt. In diesem steckt ein massiver Hartgummi-Cylinder, umwickelt mit 10 Windungen dünnen isolierten Kupferdrahtes. Um diese Windungen liegt Paraffinpapier und darüber ein langer, geerdeter und der Länge nach geschlitzter Stanniolcylinder. Beide Gläser sind mit Vaselinöl gefüllt. Das Ganze ist ein kleiner Induktionsapparat; geht durch den Aussendraht eine kräftige elektrische Schwingung, so wird im inneren Drahte eine sekundäre Schwingung induziert, welche nach später zu schildernden Methoden gemessen werden kann.

Das System II besteht aus einem dem Bunsenschen Eiskalorimeter ähnlichen Glasgefässe; im inneren mit Vaselinöl gefüllten Gefässe ist eine gleiche Sekundärspule *s* befestigt, wie in I. Aussen sind 4 Windungen *w* des

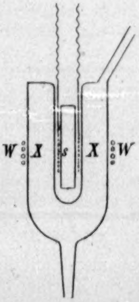


Fig. 3.

dicken Drahtes. Das Innere *X* des Gefässes kann mit Gasen oder Flüssigkeiten gefüllt werden. Nicht gezeichnet ist die geerdete und der Länge nach geschlitzte Stanniolhülle der Sekundärspule *s*.

Man misst nun zuerst die Schwingungswirkung auf I, auf das Vergleichssystem. Die Bügel *dd* (Fig. 1) führen nach $r_{,}\ r_{,}$ — dann wird *dd* nach $r_{,,}\ r_{,,}$ gelegt und die Wirkung auf II gemessen, wobei *X* in Fig. 3 einmal mit Gasen und dann mit Elektrolyten gefüllt war. So hoffte ich den Elektrolyten zu finden, dessen Schirmwirkung genau gleich ist der Schirmwirkung eines bestimmten Gases. Da ja hier einfach statt des Gases ohne irgend eine sonstige Änderung der Elektrolyt substituiert wird, erhält man ein Mass der Leitfähigkeit des Gases.

Bei einer solchen Substitutionsmethode ist nun auch die Art, wie der induzierte Wechselstrom gemessen wird, von nebensächlicher Bedeutung.

Ich verwendete zu dem Zwecke zuerst ein

Bellatisches Elektro-Dynamometer[1]), ein Galvanometer mit schiefgestelltem Eisenbündel. Die beiden kleinen Sekundärspulen der Systeme I und II sind mit einer Wippe verbunden, sodass immer nur eine derselben ins Dynamometer eingeschaltet ist. Vor dem Dynamometer liegt noch ein Schlittenapparat, um die Grösse des Ausschlages beliebig zu variieren. Es ist nicht uninteressant, dass dies schöne Instrument noch auf so rasche Schwingungen, 10^6 per Sekunde, anspricht.

Ein grosser Teil der mitgeteilten Versuche ist noch in folgender Weise wiederholt. *s* sei die Sekundärspule von Fig. 3. — Die

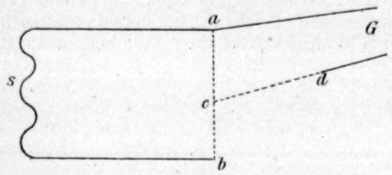


Fig. 4.

Leitung derselben enthält einen etwa 4 cm langen, sehr dünnen Konstantendraht *a b* (Durchmesser = 0,06 mm). — In der Mitte desselben bei *c* ist ein fast ebenso dünner Eisendraht *c d* angelötet. Die Lötmasse bei *c* ist möglichst klein. Von *a* und *d* gehen Drähte zu einem Galvanometer mit beweglicher Spule (von Ducretet, Spulenwiderstand = 0,38), dem noch ein Widerstand von 1 Ohm als Shunt parallel geschaltet ist. Die durch die Schwingung in *s* erzeugte Erwärmung von *c* wird so mittels eines Thermostromes gemessen. Die Vorteile dieser für fernere Messungen wohl vorzuziehenden Methode liegen in der grösseren Empfindlichkeit (man braucht für *s* viel weniger Windungen) und vor allem in der Raschheit des Ausschlages, wodurch die Beobachtungszeit bedeutend abgekürzt wird.

Als Beispiele der Beobachtungs- und Berechnungsart seien folgende Zahlen angeführt. Es werden immer abwechselnd 3 Versuche mit dem Vergleichssystem I und mit dem Versuchssystem II gemacht.

	I	II	I	II	I	II
Ausschläge	1507	1140	1556	1072	1421	1058
	1501	1054	1439	1136	1407	990
	1489	1082	1470	1091	1576	1127
Mittel	1499 = a	1092 = b	1488 = c	1100 = d	1468 = e	1058 = f

1) Siehe J. W. Giltay. Akad. v. Wetenschappen te Amsterdam 25. Jan. 1902.

Dann nehme ich die Mittel

$$\frac{a+c}{b} = 1,369$$
$$\frac{c}{b+d} = 1,357$$
$$\frac{c+e}{d} = 1,344$$
$$\frac{e}{d+f} = 1,361$$

Gesamtmittel $= 1,356$

Solche Beobachtungsreihen wurden zunächst für atmosphärische Luft aufgestellt und zwar für Schlagweiten $L = 1,5$ cm Kurve 1
$= 0,5$ cm Kurve 2
$= 0,3$ cm Kurve 3
und für verschiedene Drucke zwischen 760 mm und Null.

In den (Tab. I) gegebenen Kurven sind die gewonnenen Mittel des Verhältnisses des Normalsystems I durch das Absorptionssystem II als Ordinaten (der Raumersparnis wegen um Eins vermindert), die Drucke als Abscisse aufgetragen. Doch ist (wieder der Raumersparnis wegen) der Massstab der letzteren ein willkürlich sich ändernder: auf 760 mm folgt gleich 10 mm, von hier bis 1 mm ist ein Teilstrich gleich 1 mm, von hier bis 0,1 mm sind die Abscissen in 10fachem Massstabe aufgetragen (1 Teilstrich = 0,1 mm) und von 0,1 mm abwärts sind die Drucke mit nochmals verzehnfachter Abscisse gegeben (1 Teilstrich = 0,01 mm).

Die Abweichungen der — nach dem blossen Gefühle gezeichneten — Kurven von den gemessenen Mittelwerten sind oft nicht unbedeutend, doch sind solche Fehler bei allen Beobachtungen mit grossen Funken wohl kaum zu vermeiden.[1])

Bei grossen Schlagweiten (Kurve 1) sind die Fehler bedeutende, weil hier die Konstanz des Funkens *L* schon zu wünschen lässt. Das wird bei kleineren Schlagweiten besser, dann aber macht sich ein kleiner Fehler in der Einstellung der allmählich abbrennenden Elektroden immer mehr geltend.

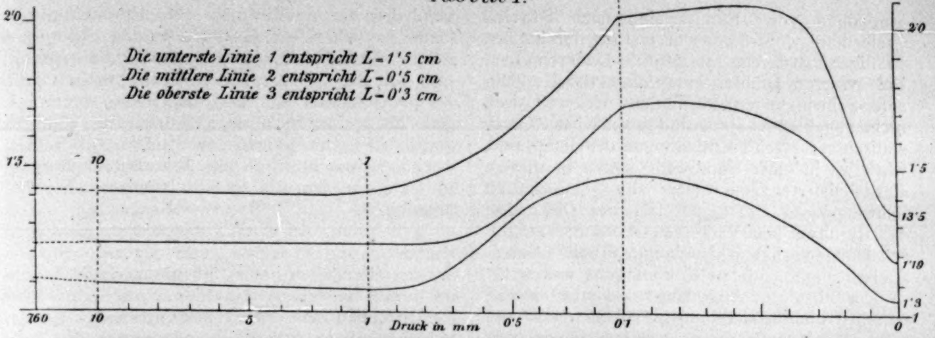
Dass dies der Fall ist, ist gewiss, wenn ich auch den Grund nur vermutungsweise angeben kann.

Der Anblick der drei Kurven zeigt nämlich, dass im grossen Ganzen die Ordinaten für 760 und Null fast gleich sind, dass aber diese Werte von Kurve zu Kurve sich ändern. Nehmen wir an, dass das Vakuum keine Schirmwirkung ausübt, so sollten die Ordinaten für tiefe Drucke gleich sein. Es sind

1) für $L = 1,5$ die Ordinate 1,05
2) „ $L = 0,5$ „ „ 1,19
3) „ $L = 0,3$ „ „ 1,35.

1) Die einzelnen Mittelwerte, aus denen sich die Kurve zusammensetzt, sind in der Zeichnung weggelassen, um die-

Tabelle I.



Ich habe die ungefähre Gleichheit der Systeme I und II bei 1) durch empirisches Ändern der Zuleitungsdrähte erreicht, d. h. ich legte wahrscheinlich zu wenig Wert auf absolute Gleichheit von I und II.

Obige Differenzen lassen sich dann leicht so erklären, dass durch Änderung des Funkenwiderstandes die Dämpfungsänderung von I und II verschieden ausfällt. Allerdings soll nach Trowbridge[1]) der Widerstand einer Funkenstrecke (auch im Magnetfelde) von der Schlagweite unabhängig sein, doch kann dies für die von mir angewendete Versuchsanordnung nicht gelten. So ist z. B. bei $L = 1{,}5$ cm die Leydnerflasche C (Fig. 1) übersäet mit ganz ungemein kräftigen Lichtbüscheln, welche für $L = 0{,}3$ ganz schwach werden; die Entladungspotentiale ändern sich hier sicher ganz gewaltig. Es kann auch dieser variable Nebenschluss der Büschelentladungen an der Leydnerflasche[2]) die eben besprochenen Differenzen der Endpunkte der Kurven mit verursachen.

Doch kann man unschwer rechnerisch diese Veränderlichkeit des Verhältnisses I zu II für das Vakuum eliminieren und danach die ganze Kurve korrigieren. Es sei für irgend eine der Kurven α der absolute Wert des Ausschlages in II für das Vakuum, α_n der absolute Wert für den Druck n und R der absolute Wert des Ausschlages für die Vergleichsspule, der natürlich für alle Drucke einer Kurve als gleich angenommen ist. Dann sind $\frac{R}{\alpha_n}$ und $\frac{R}{\alpha_v}$ die entsprechenden (um Eins verminderten) Ordinaten der betreffenden Kurven. Bilde ich nun $\frac{R}{\alpha_n} : \frac{R}{\alpha_v}$, so erhalte ich $\frac{\alpha_v}{\alpha_n}$ d. h. das Verhältnis der durch das Vakuum gehenden, also unabsorbierten Wirkung zu jener, welche nach Durchstrahlung und Absorption einer Gasmasse in X unter dem Drucke n resultiert. Diese Werte (minus Eins) sind die Ordinate der Kurven in Tabelle II.

Vor Besprechung der Resultate möchte ich folgende Bemerkung einschalten. Ich wurde erst während der Ausführung der Versuche auf manche Fehlerquelle aufmerksam, durfte aber keine Änderungen vornehmen, wollte ich nicht die schon gewonnenen langen Versuchsreihen ganz wertlos machen. Wenn ich im folgenden aus meinen Messungen Folgerungen ziehe, so thue ich dies, weil ich trotz der erkannten Mängel meiner bisherigen Methode glaube, einige nicht uninteressante nnd sichere Resultate erhalten zu haben.

Zunächst stellen die gemachten Beobachtungen erst einen ganz bestimmten Typus der

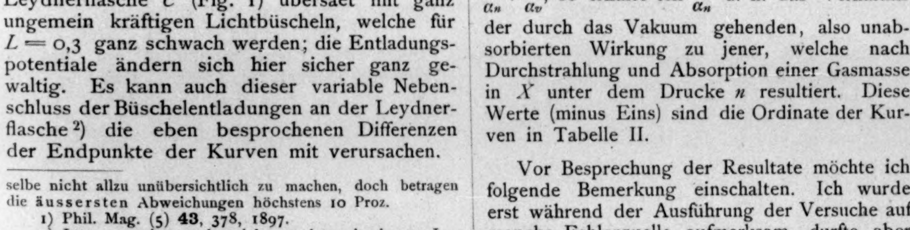
---

selbe nicht allzu unübersichtlich zu machen, doch betragen die äussersten Abweichungen höchstens 10 Proz.

1) Phil. Mag. (5) **43**, 378, 1897.

2) Interessant ist es, dass ich vergebens eine bessere Isolierung anstrebte. Sowie ich z. B. die Leydnerflasche oder entsprechende Kondensatoren ganz in Öl tauchte, wurden selbst Glasdicken von 4 mm unfehlbar durchgeschlagen. Es scheint also dieses Überströmen an der Glasfläche der Leydnerflaschen, bei starker Spannung der Schwingung als eine Art Sicherheitsventil notwendig. Dabei mache ich die Annahme, dass das Vakuum ein vollständiger Isolator sei, eine Annahme, die wohl sehr wahrscheinlich, aber keineswegs unwidersprochen ist. Siehe Lehmann: „Der dunkle Kathodenraum, Karlsruhe, 1902" S. 30 mit viel Litteratur-Angabe. Ferner Trowbridge, Phil. Mag. (5) **43**, 383, 1897. Meine Versuche zeigen nur, dass die von mir betrachtete Strahlung durch das von mir erreichte Vakuum am leichtesten hindurch geht, alles andere absorbiert mehr.

Tabelle II.



Entladung vor. Es ist eine nach Stark[1]) „selbständige" Strömung unterstützt durch einen kräftigen äusseren Ionisator. Dadurch dass die äusseren Drähte, in welchen die Kondensator-Schwingungen stattfinden, elektrostatisch nicht abgeblendet sind, finden zunächst elektrostatisch verursachte Entladungen der Glaswände, wie etwa in einer Ozonröhre, statt. In diesem stark ionisierten Gase setzen dann die induzierten Schwingungen ein. Das darf bei Diskussion der Resultate nie vergessen werden; die Erscheinungen sind wahrscheinlich mit elektrostatisch abgeblendeten Röhren ganz andere.

Der absolute Ausschlag (aus der Kurve natürlich nicht ersichtlich) im System II ist bei $L = 1{,}5$ cm am kleinsten und bei $L = 0{,}3$ cm am grössten. Die Leuchterscheinungen in verdünnten Gasen sind aber umgekehrt im ersten Falle am grössten. Die Erklärung ist sehr einfach. Es ist die Stärke der Schwingungen, die Amplitude, bei grossen Schlagweiten grösser, darum das hellere Licht, während bei kleinen Schlagweiten die Dämpfung kleiner wird, wodurch die Gesamtenergie der Schwingungen steigt.

Die Form der Kurven in Tabelle II ist sehr verschieden. Bei $L = 1{,}5$ cm, Kurve 1, ist der Anstieg am raschesten, das Maximum der Absorption resp. Leitfähigkeit wird bei etwa 0,1 mm erreicht. Der Charakter des Anstiegs der 2 anderen Kurven (für $L = 0{,}5$ resp. 0,3 cm) ist ein ganz anderer, das Minimum des Widerstands tritt hier erst bei etwa 0,07 und 0,06 mm ein.

Der Grund hierfür kann liegen in der grössern E. M. K., welche die Entladung von Kurve 1 verursacht und in der energischeren Wirkung des äusseren Ionisators. J. J. Thomson, der mit viel schwächeren Spannungen arbeitet, fand für elektrodenlose Entladungen ein Minimum der elektrischen Stärke des Gases erst bei 0,004 mm, indes Hemptinne[2]) durch Ionisierung mit Radium schon bei 144 mm das Gas so leitend machen konnte, dass es leuchtete. Weitere Versuche in dieser Richtung werden sich nach vorliegender Methode wohl unschwer durchführen lassen.

Folgende vier Punkte möchte ich nur hervorheben, theoretische Deutungen aber noch zurückhalten, bis neue Beobachtungen vorliegen.

1) Die Absorption bei 760 mm scheint grösser als im Vakuum.[3])

2) Die Absorption bei 760 mm scheint auch etwas grösser als bei etwa 1 mm Druck. Die Kurven haben hier ein Minimum. Die Erscheinung ist kaum zu sehen bei Kurve 2 und 3, hingegen bei der Schlagweite $L = 1{,}5$ cm oft beobachtet. Hier fällt die Kurve 1 von 760 mm gegen 1 mm.

3) Auffallend ist, dass die Grösse der Maximal-Absorption in allen 3 Kurven so ziemlich gleich hoch ist, bis auf etwa 4 Proz. — Sollten weitere Beobachtungen dies Resultat bestätigen, so ist es gewiss von grosser theoretischer Bedeutung.

4) Warum die einander sonst so ähnlichen Kurven 2 und 3 rechts, von 0,5 mm abwärts auseinander gehen, weiss ich nicht, doch möchte ich darauf hinweisen, dass hier schon bedeutende Fehlerquellen in der Druckmessung liegen. Bei Wiederholung der Versuche muss das Mac Leodsche Manometer unmittelbar neben dem Versuchsgefässe angeschmolzen werden, ich hatte es etwas zu weit weg.

In Bezug des oft mit bedeutender Temperaturerhöhung verbundenen Aufleuchtens der verdünnten Lichtmassen sind 3 Stufen zu unterscheiden:

1) Bei höheren Drucken (2 bis 0,3 mm) leuchtet die Röhre erst nach einigen Sekunden auf, dann aber plötzlich, explosionsartig. Das Licht bleibt dauernd bestehen; auch spricht die Röhre bei einem zweiten, unmittelbar folgenden Versuche leichter an.

2) Bei etwas kleineren Drucken setzt das Leuchten momentan und sicher ein.

3) Bei sehr kleinen Drucken (unter 0,01 mm) flackert das Licht manchmal auf und verschwindet dann oft für immer. — Unter 0,005 mm habe ich nie eine Lichterscheinung erhalten können.

In 1 wird gelegentlich an einer Stelle der Anprall der Ionen so stark, dass eine leuchtende Schwingung entsteht, die benachbarten Teile resonieren auf diese elektromagnetische Lichtstrahlung und sind infolge dieser Temperaturerhöhung selbst zum Leuchten durch Anprall neuer Ionen prädisponiert.

Im zweiten Falle ist die freie Weglänge der Ionen und die erreichte Geschwindigkeit gross, der Anprall hat immer Leuchten zur Folge. Bei ganz kleinen Drucken fliegt das Ion aber infolge des Wechselstromes hin und her ohne zum Anstoss zu kommen.

Es scheint so auf den ersten Blick, als ob Absorption einer solchen elektromagnetischen Schwingung stets mit einem Aufleuchten des Gases verbunden sein müsse. E. Wiedemann und G. C. Schmidt[1]) zeigen, dass durch den Strom zum Leuchten gebrachte elektrolumineszierende Gase elektrische Schwingungen absorbieren, auch wenn sie dies stromlos nicht thun. Bouty[2]) ist sogar der Meinung, dass

1) „Die Elektr. in Gasen". Leipzig 1902, S. 120.
2) C. R. **133**, 934, 1901.
3) Auch Lodge, Nature, July 3, 1902, denkt an eine Absorption in der durch Sonnenlicht ionisierten Atmosphäre, um die Erscheinung zu erklären, dass die drahtlose Telegraphie bei Nacht besser arbeitet als am Tage.

1) Wied. Ann. **62**, 460, 1897.
2) Journ. de phys. **9** (10) 1900.

die Leitfähigkeit an ein Aufleuchten gebunden ist. Das ist nach meinen Messungen nicht richtig. Es ist eben meine Beobachtungsweise eine andere. Zunächst werden durch die elektrostatische Wirkung von den Glaswänden her zahlreiche Ionen erzeugt. Diese werden dann durch die Induktionswirkungen in Bewegung gesetzt, ihr Anprall gegen die normalen Atome oder Atomreste erzeugt neue Ionen und die dabei auftretenden Oszillationen veranlassen, wenn sie kräftig genug sind, Elektroluminiszenz. Die absorbierte Energie setzt sich also neben der Ionisierungsarbeit hauptsächlich um in Wärme. Dieser Betrag erreicht die in der Absorption beobachtete Höhe entweder dadurch, dass einzelne wenige Atome sehr kräftig erregt werden oder aber sehr viele nur mässig. Es kann also bei gleichbleibender Absorption (d. i. gleichbleibender Stromstärke im Gase) das Leuchten stark oder schwach sein, je nachdem von Anfange an sehr wenige oder viele Ionen sich an der Leitung beteiligen.

Man kann somit auch kräftige Absorption ohne Aufleuchten erhalten, wie ich es zu wiederholten Malen beobachtete. Habe ich einen kräftigen Ionisator, sind sehr viele Ionen vorhanden, so bleibt trotz grosser Absorption das Gas dunkel. Natürlich wird auch hier durch Anwendung einer grösseren E. M. K. das Gas leuchtend.

Die in den Kurven gegebenen Absorptionen lassen sich in folgender Weise bedeutend, manchmal bis zum vierfachen Betrage, steigern. Es wird die Verbindung des Systems I mit dem Dynamometer unterbrochen und durch den Funken L eine vorbereitende Schwingung eingeleitet. Nachdem dieselbe 1 bis 2 Minuten auf X gewirkt, wird L abgestellt, die Verbindung mit dem Dynamometer rasch hergestellt und nun gleich ein Absorptionsversuch gemacht. Wartet man aber einige Minuten, so ist die Wirkung der vorbereitenden Schwingung schon fast ganz verschwunden.

Ebenso erhielt ich stärkere Absorptionen bei 760 mm, wenn ionisierte Luft unmittelbar von der Funkenstrecke her angesaugt wurde.

Die Wirkung von Becquerelstrahlen oder von ultravioletter Strahlung habe ich noch nicht untersucht. Selbstredend wird hier die Gasmasse in X gegen elektrostatische Wirkungen des Schwingungsdrahtes zu schützen sein.

Ebenso sind Flammengase zu untersuchen u. s. w.

Man sieht, dass die Fülle der andrängenden Fragen der geschilderten Methode noch manche Arbeit sichert.

Um über die ungefähren Grössenordnungen der in den Kurven gegebenen Absorptionen ein angenähertes Bild zu bekommen, wurde der Raum X mit Schwefelsäurelösungen im Wasser angefüllt.

Zunächst entsteht da die Frage, ob die grosse Dielektrizitätskonstante des Wassers nicht eine bedeutende Fehlerquelle repräsentiere. Der cylinderförmige Raum X liegt ja einerseits zwischen dem inneren immer zur Erde abgeleiteten Stanniolcylinder X und den zu hohen Potentialen geladenen äusseren Drahtwindungen. Nun ist aber die Kapazität dieses Systems gegenüber der Kapazität der die Schwingungen erzeugenden Leydnerflasche so verschwindend, dass eine erhebliche Änderung der Oszillationsdauer kaum zu erwarten ist.

Dass Elektrolyten bei diesen raschen Schwingungen von etwa 10^7 per Sek. noch die gewöhnliche Leitfähigkeit besitzen, dafür sprechen theoretische Überlegungen und praktische Erfahrungen.[1])

Auch hier gebe ich die Werte der Gesamtstrahlung durch das Vakuum dividiert durch die Strahlung durch den in X befindlichen Elektrolyten hindurch. Diese Werte A sind für x Proz. H_2SO_2 in 100 Teilen der Lösung:

$x=$	0	15	30	45	100
$A=$	1,06	1,15	1,25	1,18	1,12

Wir erhalten das interessante Resultat, dass Luft bei einem Drucke von etwa 0,1 mm viel besser leitet, als unsere besten Elektrolyten. Ein solches Resultat fand auf etwas andere Weise schon J. J. Thomson. In meinem Falle ist die Sache wohl deswegen besonders auffallend, weil ich durch die äussere elektrostatische Wirkung für einen ungemein kräftigen Ionisator gesorgt habe. Eine theoretische Extrapolation von der zu schwach leitenden 30% H_2SO_4 Lösung dürfte nicht leicht sein; experimentell müsste man die Aufgabe lösen, einen dem verdünnten Gase gleichwertigen Metallwiderstand herzustellen, der den Raum X ganz ausfüllt.

Auf jeden Fall aber ist die Leitfähigkeit verdünnter Luft sehr gross. Nun unterliegt es wohl keinem Zweifel, dass der ultraviolette Teil der Sonnenstrahlung eine sehr starke Ionisierung der Atmosphäre erzeugt, die in grösseren Höhen stark anwächst.[2]) Ich fand die grösste Leitfähigkeit bei Drucken von etwa 0,3 bis 0,05 mm. — Das entspräche in der Atmosphäre einer Höhe von 54 bis 66 Kilometer. Bei meinem Versuche war die E. M. K. pro 1 cm etwa 20 Volt. Mit kleineren Kräften wird die Leitfähigkeit wahrscheinlich etwas kleiner sein,

1) Cohn, Wied. Ann. **27**, 646, 1884; Wied. Ann. **38**, 217, 1889; Nernst, Wied. Ann. **60**, 600, 1895; Richards u. Trowbridge, Phil. Mag. (5) **43**, 376, 1897; Erskine, Wied. Ann. **62**, 494, 1897; Eichenwald, Wied. Ann. **62**, 571, 1897.

2) Elster u. Geitel, Diese Ztschr. **1**, 11—14, 1899; Ebert, Ann. d. Phys. **5**, 718, 1901.

dafür tritt aber dann kein Leuchten auf. Wenn wir uns nun den gewaltigen Querschnitt dieser in Betracht kommenden Lichtmassen unserer Atmosphäre von vielen Kilometern vor Augen halten und deren starke Ionisation, so können wir den Schluss nicht abweisen, dass hier alle längeren elektrischen Schwingungen total absorbiert werden müssen, wobei natürlich die absolute Leitfähigkeit viel kleiner sein kann als die von mir experimentell gefundene. Aber auch gleichgerichtete Ströme von ganz gewaltiger Stärke können hier fliessen. Diese Thatsache muss bei eventuellen Betrachtungen über den Erdmagnetismus, Erdelektrizität und dergl. gewiss einmal in Rechnung gezogen werden. Der Frage, ob zur Nachtzeit eine teilweise stattfindende Molisierung der Ionen die Leitfähigkeit dieser Kugelschale einseitig beträchtlich mindert, wird man wohl unschwer experimentell näher treten können.

Nach der gleichen Methode wie Luft, habe ich in ausführlicher Weise auch andere Gase untersucht, von denen Wasserstoff und Äthylen besonders auffallende Absorptionen zeigten, aber wahrscheinlich wohl, weil sich hier folgende interessante Fehlerquelle chemischer Natur zeigte.

Als ich nach einer längeren Versuchsreihe mit C_2H_2 das Gefäss X auswusch, fand ich im destillierten Wasser feine Nadeln und Blättchen.[1])

Dieser Körper dürfte sich bei einer Schlagweite $L = 1,5$ cm und zwischen den Drucken 1 bis 0,3 mm bilden. Hier zeigt sich nämlich folgendes interessante Phänomen. Bei Einleitung der Schwingung leuchtet das Gas zunächst intensiv grün auf und wird dann plötzlich nach etwa 5 Sekunden intensiv rot. Bei rascher Wiederholung dauert das grüne Leuchten kürzer, und nach etwa 5maligem Versuche leuchtet das Gas gleich intensiv rot auf. Lässt man das Gas aber längere Zeit stehen, so setzt es zunächst wieder mit grünem Leuchten ein wie zuerst. Das Gas — um mit Ostwald zu reden — lernt das Erröten und zwar mit einiger Übung immer besser; verlernt es aber auch wieder bei längerem Nichtüben. Infolge dieser Erfahrung entstand aber der Verdacht, dass vielleicht auch die excessiven Werte bei H_2 durch irgend welche Verbindungen mit Sauerstoffspuren veranlasst sein könnten und es ist eine Wiederholung dieser Versuche mit besonderer Rücksicht auf die Reinheit der Gase und gleichzeitiger spektral-analytischer Untersuchung anzustellen. Auch werden Versuche mit schwächeren Kräften auszuführen sein.

1) Herr v. Haslinger, Assistent am chemischen Institut, hatte die Güte, diesen Körper zu untersuchen. Sein Bericht lautet: „Ein gelblich gefärbter Körper erscheint in dünnen Blättchen und lässt auch unter dem Mikroskop nicht die Spur einer krystallinischen Struktur erkennen. Derselbe ist unlöslich in Alkohol, Benzol, Schwefelkohlenstoff, Äther, von Wasser wird er nicht benetzt. Weder von konstantem HNO_3 noch von einem Gemisch von HNO_3 mit H_2SO_4 angreifbar; von HNO_3 unter Zusatz von $KClO_3$ nur sehr langsam oxydierbar. In heisser konstanter KOH färbt er mit dunkelbrauner scheinbar infolge Auflösung eines seiner Bestandteile. Der genannte Körper ist nicht unversehrt schmelzbar; bei 300^0 beginnt er sich zu zersetzen. An der Luft erhitzt, verbrennt ein Teil mit hellleuchtender russender Flamme und der zurückbleibende dunkel gefärbte Rückstand verglimmt langsam aber vollständig. Unter Luftabschluss erhitzt, hinterlässt er nach Entwickelung einer geringen Menge eines schweren brennbaren Gases einen schwarzen asphaltartig riechenden, in den üblichen Lösungsmitteln unlöslichen Rückstand. Sein spezifisches Gewicht beträgt circa 1,3. Er scheint somit allem Anschein nach ein Gemisch hochmolekularer Kohlenwasserstoffe (Paraffine) beziehungsweise asphaltartiger Substanzen zu sein."

Ich bin mir wohl bewusst, dass die geschilderten Versuche noch manche Fehlerquellen enthalten, deren Vermeidung mir bisher nur zum Teile gelungen ist. Ich glaube aber, dass solche elektrodenlose Ströme manche Eigenschaften der Gasionen werden besser erkennen lassen, als die bisher hauptsächlich gepflegte Beobachtungsart mit Elektroden. Wir haben hier nirgends eine Anstauung von Ionen, die Sache wird dadurch in vieler Beziehung einfacher. Wenn ich es trotzdem möglichst vermied theoretischen Spekulationen, welche oft verführerisch lockten, nachzuhängen, geschah dies, weil viele meiner Resultate noch weiterer Bestätigung bedürfen. Das Arbeitsfeld ist ein grosses, und mein Hauptzweck war, auf dasselbe hinzuweisen.

(Selbstreferat des Vortragenden.)

Diskussion.

Kaufmann (Göttingen): Ich möchte doch gegen den Schluss des Vortragenden von den Verhältnissen in der Röhre auf die in der Atmosphäre ein gewisses Bedenken aussprechen. In der Röhre handelt es sich doch um ein Gas, das nicht an sich ein hohes Leitvermögen hat, wie z. B. Schwefelsäure, sondern um ein Gas, das erst durch die Schwingungen ein Leitvermögen bekommt. Die Ionen und somit auch das Leitvermögen werden erst durch die Entladungen erzeugt. Davon kann man wohl aber nicht auf die Eigenschaften eines verdünnten Gases schliessen, wie es die Atmosphäre in grosser Höhe darstellt. Vielleicht wäre es auch sehr wichtig, die Versuche an Gefässen von grösseren Dimensionen anzustellen und festzustellen, inwieweit die Erscheinungen durch Änderung der Apparatdimensionen modifiziert werden.

Lecher: Ich setzte ja voraus, dass in jenen Schichten der Atmosphäre eine kolossale Ionisierung vorhanden ist, und so kann man eine Leitung bekommen, auch ohne dass neue Ionen erzeugt zu werden brauchen. Wenn dann auch die absolute Leitfähigkeit viel kleiner ist als

die des Elektrolyten, so wird doch der Gesamtwiderstand dieser riesigen 15 Kilometer dicken Schicht wahrscheinlich sehr klein sein. Was den Einfluss des Gefässes betrifft, so ist er sicherlich vorhanden, ich glaube nur, er ist hier geringer, als bei den sonstigen Methoden. Das Ion wird hier hin und her geworfen, und wir haben kein Ende seiner Bewegung an der Glaswand. So halte ich es gerade für einen Vorteil der Methode, dass die Glaswand mehr ausgeschaltet ist als sonst.

Puluj (Prag): Dass die Dimensionen des Gefässes einen Einfluss auf die Leitfähigkeit haben, scheint mir, wenn von elektrostatischen Ladungen der Glaswände abgesehen wird, nicht wahrscheinlich zu sein, aber etwas Anderes könnte vielleicht den Grund der Erscheinung abgeben. Wenn ein Gefäss sehr stark evakuiert wird, so können sich Wasserdämpfe von den Gefässwänden loslösen, und je mehr man evakuiert, um so mehr überwiegt der Wasserdampf. Ich erinnere mich, bei Versuchen über die innere Reibung im Wasserstoffgase beobachtet zu haben, dass die Reibung immer grösser wurde, je mehr ich das Gefäss evakuierte. Der Grund dieser mit Sicherheit festgestellten Thatsache ist der, dass Wasserdampf selbst in sehr sorgfältig getrockneten Gefässen bei fortschreitender Verdünnung des Gases sich von den Wänden loslöst und zum Schluss ein Gemisch vom betreffenden Gase und Wasserdampf zurückbleibt.

Das Resultat, zu welchem der Herr Vortragende gelangt, dass die obersten Luftschichten in der Höhe von 54—70 km eine grosse Leitfähigkeit besitzen sollen, scheint mir sehr wahrscheinlich. Ich erinnere mich, in den Werken Humboldts gelesen zu haben, dass durch Meteorsteine, die mit planetarischer Geschwindigkeit die obersten Luftschichten durchschneiden, das Aufleuchten von ganzen Himmelsgegenden verursacht werden kann. Das erkläre ich mir in diesem Moment in der Weise, dass, infolge grosser Reibung in sehr verdünnten Luftschichten, die bewegten Körper elektrisch werden und elektrische Entladungen stattfinden, weil die stark verdünnte Luft eine grosse Leitfähigkeit besitzt.

Wien (Aachen): Bei der hohen Schwingungszahl von 10^7 in der Sekunde scheint es möglich, dass, wie in einem Metalldraht, in der Säurelösung die Stromlinien nach aussen gedrängt wurden und auf diese Weise falsche Werte für die Leitfähigkeit erhalten wurden. Es käme dabei allerdings auf die Dimensionen der Gefässe an.

Nernst (Göttingen): Dies Phänomen spielt hierbei gewiss keine Rolle, wie Rechnung und Versuch übereinstimmend zeigen.

Archenhold (Treptow): Die Untersuchungen des Herrn Vortragenden sind von grossem Interesse gerade wegen seines Schlusses über die elektrische Leitfähigkeit der Schichten von 54—70 km Höhe in unserer Atmosphäre. Man kann den Schluss noch erweitern in Bezug auf die „leuchtenden Nachtwolken", die in 80 km Höhe auftreten. Ich habe im Gegensatz zu dem hoch verdienten Jesse sie immer für elektrische Strahlungen gehalten. Ich nahm oft plötzliche Änderungen an ihnen wahr, die mich auf die Vermutung brachten, dass sie durch Kathodenstrahlen der Sonne erzeugt werden, zumal sie nicht an allen klaren Abenden sichtbar waren. Besonders wichtig ist es, dass die „Nordlichter" in diesen Höhen und zwar in Verbindung mit den Sonnenflecken auftreten. Bei einer Reihe von Sonnenflecken habe ich gefunden, dass immer, wenn ein Sonnenfleck auf der Mitte der Sonne ist, auch ein grosses Nordlicht auf der Erde erscheint. Es ist also anzunehmen, dass die Sonne Kathodenstrahlen aussendet, und dass die elektrischen Strahlen, die ausgesendet werden, diese Leitung in den hohen Schichten der Atmosphäre hervorrufen. Die Koinzidenz der Sonnenflecke und Nordlichter im allgemeinen ist ja schon durch Fritz, Wolf, Arrhenius u. a. bekannt geworden.

Warburg (Berlin): Lecher sagte, es wäre wichtig, dass das Manometer gute Angaben giebt. Mir hat jemand gesagt, was mir überraschend war, dass nach Versuchen von Ramsay das Mac Leod-Manometer, mit Luft gefüllt, ganz unsichere Angaben giebt, bessere allerdings bei Füllung mit Wasserstoff. Weiss vielleicht jemand etwas von dieser Arbeit von Ramsay?

Kahlbaum (Basel): Auch ich habe von den Versuchen Ramsays gehört, ohne doch die Arbeit selbst gesehen zu haben. Versuche, die ich daraufhin anstellte, bei denen ein Volumen von 500 cm^3 zwischen 0,05 und 2 cm^3 zusammengepresst wurde, ergaben Ungenauigkeiten, die sich durchaus innerhalb der vorauszusetzenden Fehlergrenzen hielten.

Lecher: Der Einfluss des Wasserdampfes ist nicht sehr gefährlich. Beweis dafür ist, dass auch, wenn man das innere Gefäss ganz nass macht, die Sache nicht anders wird; der Wasserdampf giebt nicht viel aus.

Im übrigen bin ich dankbar für die Anregungen. Ich behaupte ja noch nicht apodiktisch, dass die Luft da oben so oder so stark leitet; aber meine Versuche deuten doch auf eine grosse Leitfähigkeit, und ich wollte eben nur bitten, dass man diese Möglichkeit als wahrscheinlich ins Auge fasse. Denn das wäre doch sehr wichtig, z. B. für die ganze Theorie des Erdmagnetismus.

E. Warburg (Berlin), Über leuchtenden elektrischen Wind.

Bei der Spitzenentladung in Luft und anderen Gasen von atmosphärischem Druck beschränkt sich die Lichterscheinung an der negativen Spitze auf einen leuchtenden Stern: das negative Glimmlicht Geisslerscher Röhren, welches bei dem hohen Druck und der kleinen Stromstärke auf einen winzigen Raum sich zusammenzieht.

In Stickstoff jedoch, welcher durch glühendes Kupfer von Sauerstoff befreit ist, sieht man bei hinreichend grosser Stromstärke, wie sie z. B. durch einen Hochspannungsakkumulator zu erzielen ist, von dem Stern einen feinen Lichtpinsel ausgehen. Bei meinen Versuchen, bei welchen die vertikale Spitze in der Achse eines 4,5 cm weiten vertikalen zur Erde abgeleiteten Platincylinders sich befand, war der Lichtpinsel auch nach dieser Achse gerichtet. Indem man dem gläsernen Versuchsgefäss unten einen 1,6 cm weiten cylindrischen, mit dem Platincylinder conaxialen Fortsatz gab, sah man im Dunkeln den Lichtpinsel in dieses Rohr hineinlaufen, wobei er sich mehr und mehr verbreiterte, und als breites, weissliches Band bis auf 8 cm Entfernung von der Spitze sichtbar blieb. Drahtnetze werden von dem Lichtpinsel durchdrungen, trifft er auf eine Gefässwand, so streicht er als weissliche Wolke an derselben entlang. Ist er gut entwickelt, so zeigt das Gas nach Öffnen des Stromes das Phänomen des Nachleuchtens.

Aus dem Gesagten geht hervor, dass man in dem Lichtpinsel leuchtenden elektrischen Wind vor sich hat: das an der Spitze gleichnamig mit dieser elektrisierte Gas wird durch die elektrische Kraft von der Spitze fortgetrieben (elektrischer Wind); es hat an der Spitze durch den Strom eine chemische Veränderung erlitten, und diese bildet sich auf dem Wege des fortströmenden Gases unter Nachleuchten zurück. So bleibt das fortströmende Gas oder der elektrische Wind auf seinem Wege durch ein Phänomen des Nachleuchtens sichtbar.

Der Strom, welcher von horizontalen, vom Lichtpinsel getroffenen Metallplatten aufgenommen wird, ist nur ein sehr kleiner Bruchteil des ganzen von der Spitze kommenden, der Hauptsache nach zum Platincylinder gehenden Stromes. Die elektrische Konvektion durch den elektrischen Wind ist also eine geringfügige Begleiterscheinung des Spitzenstromes, keineswegs, wie zuweilen angenommen wird, der ganze Spitzenstrom.

Erhöht man die Sauerstofffreiheit des Gases, indem man es mit heissem Natriummetall behandelt, welches man auf elektrolytischem Wege in das gläserne Versuchsgefäss eingeführt hat, so wird der Lichtpinsel sehr verkürzt, und das Nachleuchten nach Öffnen des Stromes wird nicht mehr bemerkt. Die beschriebenen Erscheinungen sind also an eine kleine Beimengung von Sauerstoff gebunden.

(Selbstreferat des Vortragenden.)

Diskussion.

Ostwald (Leipzig): Ich möchte mir die Frage erlauben, ob der Vortragende den Sauerstoff auch nach der positiven Seite geändert hat, also etwas mehr Sauerstoff in sein Gasgemisch hineingebracht und dann das Verhalten dieses sauerstoffreicheren Stickstoffs untersucht hat?

Warburg: Wenn man den chemisch bereiteten, über Wasser aufgefangenen Stickstoff nicht durch glühendes Kupfer von Sauerstoff befreit, so findet das Nachleuchten nicht statt, und auch an dem Lichtpinsel ist nichts zu sehen. Daraus geht hervor, dass es ein gewisses Optimum des Sauerstoffgehalts für die Erscheinungen giebt. Ebenso ertheilt eine gewisse kleine Quantität von Wismutsalz dem Schwefelcalcium zugesetzt, diesem die stärkste Phosphoreszenz, stärkere als eine grössere Quantität.

Kaufmann (Göttingen): In Bezug auf das Optimum möchte ich fragen, ob das auch in Bezug auf die Stromstärke stattfindet.

Warburg: Nein, auf die Stromstärke hat die Sauerstoffentziehung durch Natrium keinen bemerkbaren Einfluss.

Karl Schaum (Marburg a. L.): Über den photographischen Negativprozess.

Im Interesse der Aufklärung wichtiger Fragen hat der Vortragende an der Hand mikroskopischer und mikrometrischer Untersuchungen die Struktur des unentwickelten und des fertigen Negativs studiert. Die wesentlichsten Ergebnisse sind folgende: Während des die Empfindlichkeit in hohem Masse steigernden Reifungsvorganges findet eine planare Vergrösserung des Bromsilberkornes bis zu etwa 0,000009 mm^2 statt. Die Dicke der Schicht unentwickelter Negative beträgt für Momentplatten durchschnittlich 0,024 mm; Diapositivplatten zeigen geringere, orthochromatische Platten höhere Werte. Vom Wassergehalt ist sowohl die Schichtdicke als auch die Empfindlichkeit abhängig; letztere wächst, wenn man das Negativ über konzentrierter Schwefelsäure trocknet. Die Zahl der Bromsilberkörner in der obersten Schicht eines Schleussner-Negativs beträgt 270000 pro 1 mm^2 (bei 860facher Vergrösserung gezählt). Steigert man die Belichtungs- und die Entwickelungsdauer, so wächst im fertigen Negativ die Zahl der Silberkörner

in der Volumeinheit, die Dicke der Silberkornschicht und die Grösse der Silberpartikel. Die häufig bestrittene Abhängigkeit der Grösse der Silberkörner von Belichtungs- und Entwicklungszeit lässt sich auch an primär fixierten und sekundär mit silbersalzhaltigem Entwickler hervorgerufenen Negativen nachweisen und bildet einen wichtigen Beweis für die zuerst von Ostwald gegebene Erklärung des Entwicklungsmechanismus (Silberkeimwirkung). — Reifung, normales und solarisiertes latentes Bild lassen sich durch Oxydationsmittel zerstören. Solarisierend belichtete Negative können nach Vorbaden in Ammoniumpersulfat normal entwickelt werden. Besonders bemerkenswert erscheint die Beobachtung des Vortragenden, dass Platten und Papiere, welche stundenlang dem Tageslicht ausgesetzt waren, durch Behandeln mit Ammoniumpersulfat — wenn auch unter Herabsetzung der Empfindlichkeit — wieder zur Aufnahme etc. gebrauchsfähig gemacht werden können. Die Ausführungen wurden durch Projektion von Mikrophotogrammen u. a. erläutert.[1])

1) Ausführliches zu dem Vortrage vgl. den Aufsatz K. Schaum und V. Bellach, Untersuchungen über die photographischen Prozesse. (Diese Zeitschr. **4**, 4, 1902.)

(Selbstreferat des Vortragenden.)

Diskussion.

Pringsheim (Berlin): Ich möchte eine technische Frage stellen in Bezug auf die Kornvergrösserung. Auf die gereifte Platte wirkt das Licht doch stärker ein als auf die ungereifte. Wie wird nun verhindert, dass während der Exposition eine starke Solarisation der zu photographierenden Platte eintritt?

Schaum: Wir haben durch Vergleichen belichteter und unbelichteter Emulsionsproben bei Rotlicht festgestellt, dass selbst durch stark solarisierende Belichtung keine Änderung der Korngrösse oder -form hervorgerufen wird. Übrigens hat auch Kaiserling dieselbe Beobachtung gemacht.

Grimsehl (Hamburg): Ich möchte im Anschluss an den Vortrag eine kleine Bemerkung machen, die mir beim Lippmannschen Verfahren auffiel. Die Platten, die hierbei angewendet werden, sind nahezu vollständig durchsichtig. Durch Zufall trat eine Verunreinigung der Platten bei der Herstellung der Emulsion ein. Ich beachtete das nicht, sondern behandelte und entwickelte die Platten wie gewöhnlich, und fand dann, dass an den verunreinigten Stellen im Vergleich zu den vollständig durchsichtigen Stellen eine hohe Empfindlichkeit vorhanden war. Als ich nun die Platten streifenweise mit einer Gelatine-Zinkoxyd-Emulsion überzog, stellte sich bei stärkerer Belichtung heraus, dass dort, wo das Zinkoxyd auflag, eine ausserordentliche Steigerung der Empfindlichkeit eintrat. Bei der gewöhnlichen Aufnahme eines Objektes entstand an diesen Stellen ein deutliches Bild, während die unveränderten Stellen keine Spur eines Bildes zeigten. Ich vermute, der Grund ist der, dass durch die Reflexion des Lichtes an den Zinkoxyd-Partikelchen unregelmässige stehende Wellen auftreten, die in erster Linie die Empfindlichkeits-Steigerung hervorgerufen haben. Ich habe die Beobachtung damals leider nicht weiter verfolgen können, teile sie aber mit, da ich glaube, dass die Vergrösserung der Empfindlichkeit hier einen rein physikalischen Grund hat.

Vielleicht wäre in ähnlicher Weise die Erklärung möglich, dass durch Reflexion des Lichts am vergrösserten Bromsilberkorn der gereiften Platte stehende Wellen auftreten, und dass diese die Ursache für die Empfindlichkeitsvergrösserung sind. Vielleicht lässt sich auch durch künstliche undurchsichtige Zusätze, wie z. B. Zinkoxyd zur Emulsion, eine ähnliche allgemeine Empfindlichkeits-Steigerung hervorrufen, wie durch den gewöhnlichen Reifungsprozess.

Jean Billitzer (Wien), Kolloidale Metalle.

Es fehlt nicht an Versuchen, die Eigenschaften kolloidaler Lösungen, ihre Eigentümlichkeit auf Elektrolytzusatz auszufällen, ihre träge Diffusion, den verschwindenden osmotischen Druck etc. zu deuten. Unter diesen zahlreichen Erklärungen verdient die Bredigsche[1]) vor allen anderen weitaus den Vorzug, weil sie die einzige ist, welche keine willkürlichen Voraussetzungen beansprucht. Sie fusst auf der Helmholtzschen Theorie der Elektrokapillarität, nach welcher den Körpern die grösste Oberflächenspannung dann zukommt, wenn ihre Doppelschicht, und hiermit der elektrische Gegensatz zur umgebenden Flüssigkeit verschwindet. Bredig vermutet nun, dass die Potentialdifferenz zwischen den diskreten Teilchen eines Kolloides (das er in Übereinstimmung mit der gegenwärtigen Anschauung als Suspension anspricht) auf den Zusatz eines Elektrolyten abnimmt und dass damit die Oberflächenspannung zugleich die Tendenz der Partikelchen, sich zusammenzuballen, verhindert, bis endlich alles ausfällt.

Diese sehr plausible Erklärung war bisher keiner experimentellen Prüfung unterzogen worden; ich unternahm es daher, ihre Konsequenzen durch Vergleichung mit den Versuchsergebnissen zu kontrollieren, nachdem mir Ex-

1) Anorganische Fermente, Leipzig 1901.

perimente über die Wanderung kolloidaler Lösungen im Stromgefälle ein Mittel an die Hand gegeben hatten, die Potentialdifferenz zwischen den Partikeln und der Lösung zu bestimmen.

Wählen wir nun kolloidales Platin als Beispiel, dessen diskrete Teilchen wie eine Sauerstoff-, respektive Wasserstoffelektrode fungieren, so zeigt es sich, dass gewisse Nichtelektrolyte, die reduzierende oder oxydierende Wirkungen auszuüben vermögen (z. B. Alkohol), die besagten Potentialdifferenzen wesentlich beeinflussen können, während indifferente Elektrolyte, d. h. solche, die weder saure noch alkalische, oxydierende noch reduzierende Eigenschaften ausüben, soviel wie ohne Einfluss auf die bestehende Potentialdifferenz zwischen Platin und Lösung bleiben. Dennoch fällt die Lösung auf Zusatz solcher indifferenter Elektrolyte aus, während Zusatz von reduzierenden Nichtelektrolyten die Stabilität nur wenig vermindert. Ja noch mehr! Es gelingt, die Potentialdifferenz durch Elektrolytzusatz nach beiden Seiten vom Nullpunkte zu entfernen und dennoch fällt dabei die Lösung aus!

Diesen Erscheinungen vermag die Bredigsche Erklärung keine Rechnung zu tragen.

Nun habe ich beobachtet, dass in gewissen Fällen indifferente Körper auf eine Lösung einzuwirken vermögen. Überschichtet man beispielsweise Porzellanschrot mit einer Chlorbaryumlösung (nachdem man sich davon überzeugt hat, dass es reinem Wasser weder saure noch alkalische Reaktion erteilt), so findet man, dass die Lösung saure Eigenschaften erlangt. Die Analyse ergiebt, dass Baryum absorbiert worden ist, während die Menge des vorhandenen Chlors unverändert geblieben ist. Nimmt man hingegen feste Marmorstücke, so wird die Lösung alkalisch, Chlor ist absorbiert worden, Baryum, in gleicher Konzentration enthalten, geblieben.

Porzellan ladet sich negativ gegen die Lösung, Marmor positiv. Es liegt daher nahe, anzunehmen, dass im ersten Falle der in die Lösung fallende positive Teil der Doppelschicht durch Baryumionen ersetzt worden ist, und dass im zweiten Falle negative Chlorionen dieselbe Funktion ausgeübt haben. Diese Vorstellung wird durch die Thatsache erleichtert, dass sich, wie ich a. a. O. gezeigt habe, suspendierte Partikeln wie freigeladene Körper verhalten, eine Eigentümlichkeit, welche dadurch bewirkt sein kann, dass ein Teil des äusseren Belages in die Lösung diffundiert [1]), die Doppelschicht also quasi dissoziiert ist; oder man kann auch an einen einfachen Ersatz des äusseren Belages durch Ionen denken, womit der Vorgang ein Analogon zu der Verdrängung eines Iones durch ein anderes wird.

1) Diese Vorstellung rührt von Herrn Prof. Nernst her.

Ein ganz analoges Verhalten weisen die kolloidalen Lösungen auf, so fanden Linder und Picton [1]), dass ihr kolloidales Arsentrisulfid bei reiner Fällung durch ein Salz, etwa Chlorbaryum, immer eine kleine Menge des Kations mit in den Niederschlag riss. Das mitgefällte Baryum konnte durch Auswaschen mit Wasser nicht entfernt werden, dagegen liess es sich durch Strontium etc. verdrängen. — Um die Beziehung herzustellen, braucht es nur erwähnt zu werden, dass kolloidales Arsentrisulfid zur Anode wandert und demnach negativ geladen ist.

Ebenso fand Spring [2]), dass seine elektronegative Trübungen bei ihrer Fällung durch Kupfersulfat Kupfer mit in den Niederschlag überführten.

Quantitativ ist eine dieser Erscheinungen neuerdings von Whitney und Ober [3]) studiert worden. Sie finden, dass die Menge des mitgerissenen positiven Ions der Konzentration an elektronegativem Kolloid proportional, von der Salzkonzentration unabhängig ist (weil das Salz im Überschusse ist), ferner dass nur das Kation mitgerissen wird, während die Konzentration der Anions unverändert bleibt, endlich dass die verschiedenen Metalle im Verhältnisse ihrer chemischen Äquivalente vertretbar sind.

Diese Beobachtungen werfen einiges Licht auf die Vorgänge die sich bei der Fällung der Kolloide abspielen.

Die geringe Diffusionsfähigkeit ist bereits von J. J. Thomson [4]), die viel schnellere Erreichung des Schmelzwertes von Whetham [5]) erklärt worden.

Der Anschluss an die mechanischen Suspensionen wird nur ein engerer.

1) J. chem. Soc. **67**, 63 (1895).
2) Arch. des sc. pyhys. et natur. **4**, 10, 305.
3) Zeitschr. f. phys. Chem. **39**, 630, 1902.
4) Siehe Hards, Zeitschr. f. phys. Chem. **33**, 385, 1900.
5) Journal of Physiol. **24**, 301, 1899.

(Selbstreferat des Vortragenden.)

Diskussion.

Liebermann (Berlin): Der Vortragende hat physikalisch-chemische Betrachtungen an einen von ihm ausgeführten Versuch geknüpft, bei dem durch Vermischen einer Chlor-Baryumlösung mit Marmorpulver eine alkalische Reaktion eintrat. Ich möchte darauf aufmerksam machen, dass dieser Versuch sich wohl rein chemisch erklärt. Marmor reagiert durchaus nicht unter allen Bedingungen neutral, wie folgender von mir angestellter Versuch zeigt. Legt man auf eine gereinigte Marmorplatte, mag sie alt oder frisch sein, oder selbst auf eine ganz frische oder frisch polierte Bruchfläche Streifen feuchten roten Lackmuspapiers, so bläuen sich

dieselben schon nach kurzer Zeit und sind nach einigen Stunden meist rein blau. Die Erscheinung rührt daher, dass der rote Lackmusfarbstoff den kohlensauren Kalk, allerdings allmählich und in sehr kleinem Betrage, unter Bildung des blauen Kalksalzes des Lackmusfarbstoffes und unter Freiwerden der entsprechenden Menge Kohlensäure zersetzt. Bei dem Versuch des Herrn Billitzer dürfte wohl das Marmorpulver in gleicher Weise auf den Indikator eingewirkt haben, zumal falls als Indikator Lackmus oder namentlich Lackmuspapierstreifen, an welche sich das Marmorpulver ansetzen kann, benutzt worden sind, was ich aus dem Vortrag nicht entnehmen konnte.

Billitzer: Wenn Marmor in Berührung mit Wasser ist, ist gar keine Alkalität nachzuweisen, erst im Moment, wo Chlorbaryum (das auf seine Neutralität geprüft war) zugesetzt wird, tritt Alkalität ein, als Indikator benutzte ich Phenolphtalein und nicht das stärkere Lackmus. Beim Auftreten saurer Reaktion war ferner, wie analytisch nachgewiesen, Baryum absorbirt worden, während die Chlormenge unverändert geblieben war. Umgekehrt war Chlor verschwunden und Baryum konstant geblieben, wenn alkalische Reaktion auftrat. Auch braucht der Indikator gar nicht mit dem festen Körper in Berührung zu kommen, um diese Reaktion zu liefern, der Versuch gelingt auch dann, wenn man einen Teil der Lösung abpippettiert und dann erst mit dem Indikator zusammenbringt. Dies scheint mir dagegen zu sprechen, dass wir es mit einem chemischen Vorgange zu thun haben.

E. Grimsehl (Hamburg), Über den Voltaschen Fundamentalversuch.

Wohl keine Erscheinung ist in unserer Wissenschaft so vielfach beschrieben und besprochen, wie der sogenannte Voltasche Fundamentalversuch. Besonders die Frage nach dem Ursprung der beim Berühren heterogener Leiter erster Klasse hervortretenden elektrischen Spannungsdifferenz hat zu ungezählten Abhandlungen geführt. Noch vor kurzem standen sich die beiden Ansichten gegenüber: die „Kontakttheorie“ und die „chemische Theorie“; erst in jüngster Zeit scheint die chemische Theorie endgültig den Sieg davongetragen zu haben. — Wenn ich es nun heute wage, Ihnen über einige Versuche zu berichten, die die ältere Ansicht, die Kontakttheorie, aufs neue stützen, so bin ich mir dessen wohl bewusst, dass man diesen Versuchen, besonders in den Reihen der Chemiker, mit einem gewissen Vorurteil begegnen wird. Trotzdem möchte ich die diesjährige Naturforscherversammlung dazu benutzen, Ihnen die Versuche unter Vorführung der gesamten Versuchsanordnung mitzuteilen, damit entweder auch diese Versuche und ihre Beweiskraft gestürzt werden, oder damit man sich aufs neue an den Gedanken der Möglichkeit reiner Kontaktwirkung gewöhnt, um vielleicht manche Erscheinung zu erklären, deren Erklärung unter Zugrundelegung der chemischen Theorie gekünstelt erscheint.

Der Ausgangspunkt der ganzen Versuchsreihe war der Wunsch, im Schulunterricht eine möglichst einfache Anordnung zu benutzen, um geringe Spannungsdifferenzen mittels des Blättchen-Elektrometers nachzuweisen. Nach mehrfachen Abänderungen konstruierte ich das vor Ihnen stehende Aluminiumblatt-Elektrometer, das an Empfindlichkeit und Zuverlässigkeit alle anderen mir bekannten Blättchen-Elektrometer weit übertrifft. Eine genaue Beschreibung desselben findet sich in der Physikalischen Zeitschrift (**3**, 569, 1902), weshalb ich hier auf eine nähere Beschreibung desselben verzichten kann. Bemerken will ich nur, dass man mit dem Apparat noch Spannungen von 1 Volt ohne Kondensator bequem nachweisen kann. Mittels dieses Elektrometers konnte ich im Schulunterricht mancherlei Versuche bequem ausführen, zu denen man sonst das Quadrant-Elektrometer benutzt. Besonders gelang der sogenannte Voltasche Fundamentalversuch in so zuverlässiger Weise, dass es sich fast von selbst darbot, diesen vielumstrittenen Versuch genauer zu verfolgen. Die ausserordentliche Konstanz des Ausschlags war geradezu verblüffend. Auch als durch besondere Versuchsanordnungen die etwa vorhandene Reibung der Lackschicht, sowie die an der Berührungsstelle etwa auftretende chemische Differenz gänzlich beseitigt war, änderte sich an dem erzeugten Ausschlage nichts. Ich übergehe die Beschreibung dieser Versuchsanordnungen, da sie bei den definitiven Versuchen noch abgeändert wurden. Es blieb nur noch die Möglichkeit übrig, dass auf der Gesamtoberfläche der Platten eine chemische Einwirkung der Luft, speziell des Luftsauerstoffs eintreten könnte. Sorgfältiges Einhüllen der ganzen Platten in eine möglichst gleichmässige Lackschicht dienten als erster Schutz gegen atmosphärische Wirkungen. Der Ausschlag der Aluminiumblättchen oder besser, die hieraus berechnete Spannung änderte sich nicht.

Da aber dieser Lackschutz doch kein unbedingtes Schutzmittel war, denn in etwa entstehende Sprünge desselben konnte der Sauerstoff der Luft eindringen, auch war ja während des Lackierens der Einfluss der Luft nicht ausgeschlossen, so entschied ich mich dafür, diese Lackschicht ganz zu verlassen und musste

dafür sorgen, dass einerseits die kondensierende Wirkung der beiden Platten auch ohne direkte Berührung möglich war, dass andererseits die Versuche im abgeschlossenen Raume, der mit beliebigen Gasen gefüllt werden konnte, ausgeführt wurden.

Das Elektrometer und die Einfachheit der Handhabung des Kondensators gestattete, den ganzen Apparat unter diese Glasglocke (Fig. 1)

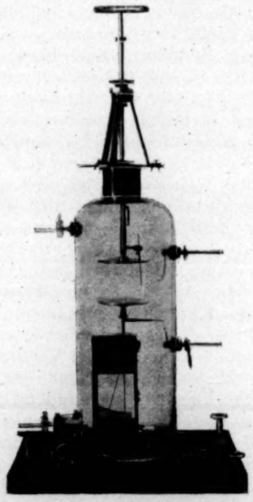


Fig. 1.

zu bauen. Nur bedurfte die Glasglocke einiger besonderer Vorrichtungen, damit alle Manipulationen, die bei einer längeren Versuchsreihe notwendig wurden, von aussen vorgenommen werden konnten.

Zur metallischen Ableitung des Elektrometer-Gehäuses ist die untere Glasplatte, auf der die Glasglocke steht, durchbrochen und mit einer Ableitungsklemme verbunden.

Um die obere bewegliche Kondensatorplatte des Apparates verschieben und drehen zu können, ist auf den oberen Tubus der Glasglocke eine Stopfbüchse möglichst genau centrisch und axial eingekittet.

Die genaue Justierung der axialen Stellung der Stoffbüchse und der in derselben sich bewegenden Kondensatorstange geschieht durch eine oberhalb der Stopfbüchse sitzende Führungsschraube. Zu dem Zwecke besteht die obere Platte der Stopfbüchse aus einer grossen kräftigen Messingscheibe, auf der drei Füsse durch Zug- und Druckschrauben befestigt sind. Diese Füsse laufen oben zusammen und sind an eine Mutter mit 1 mm Ganghöhe festgeschraubt. Der äussere Rand dieser Mutter trägt eine Trommelteilung in 100 Teile. In die Mutter ist eine genau passende Schraube eingesetzt, die so ausgebohrt ist, dass die Kondensatorstange fast ohne Reibung hindurchgeht. An dem Rändelkopf der Schraube sitzt ein Index, der sich beim Drehen der Schraube über der Trommelteilung dreht. Durch Verstellung der an den drei Füssen der Führungsmutter sitzenden Zug- und Druckschrauben lässt sich eine äusserst genaue Justierung der axialen Stellung der Kondensatorstange vornehmen. Die Kondensatorstange trägt ferner noch einen durch Schraube feststellbaren Anschlagring, welcher beim Abwärtsbewegen der Stange auf den Kopf der Führungsschraube stösst, und somit die Abwärtsbewegung der Kondensatorstange begrenzt. Es ist ersichtlich, dass durch die getroffene Anordnung die Begrenzung der Abwärtsbewegung bis auf 0,01 mm genau ausführbar ist.

Die Kondensatorstange selbst ist eine cylindrische Messingstange, die an ihrem oberen Ende zur bequemen Handhabung eine Querstange trägt. An dem unteren, in der Glasglocke sitzenden Ende, befindet sich eine Messingverstärkung, die verhindert, dass die Stange ganz aus der Glasglocke herausgezogen wird. An diese schliesst sich nach unten ein kurzes Ende eines best isolierenden Hartgummistabes an, und an diesem ist die Messingfassung der oberen Kondensatorplatte festgeschraubt. Die Messingfassung ist mit einem seitlichen Messingstab versehen, dessen äusseres Ende etwas über die Kondensatorplatte hinausragt, und auf dieses Ende ist eine Hülse festgeschraubt, an der ein oben und unten in einen Platindraht endigender vertikaler Arm befestigt ist.

Die untere Kondensatorplatte ist mittels dreier seitlicher Schrauben, die eine genaue Justierung der Stellung der Platte gestatten, auf der Elektrometerstange direkt festgeschraubt. Die Elektrometerstange trägt einen seitlichen in einen Platindraht endigenden Arm.

Um dem Innern der Glasglocke beliebige Gase zuführen zu können, oder um dieselbe evakuieren zu können, ist die Glasglocke an der einen Seite mit zwei Durchbohrungen versehen, in welche Glashähne luftdicht eingesetzt sind, und zwar sind die Durchbohrungen möglichst am oberen und unteren Ende angebracht, um leichte oder schwere Gase bequem einführen zu können.

Auf der den Glashähnen entgegengesetzten Seite sind zwei andere Durchbohrungen der Glaswand vorgenommen. In diesen sitzen die Ladevorrichtungen für die beiden Kondensatorplatten, bezw. für das Elektrometer. Die

Ladevorrichtungen bestehen aus schlank konischen Messingachsen, die sorgfältig in isolierenden Führungen eingeschliffen sind, die mittels zweier Messingscheiben und dazwischen gelegten Lederscheiben luftdicht in die Glaswandungen eingesetzt sind. Die in diese Führungen passenden Messingachsen endigen aussen in kleine Messinghülsen zur Aufnahme von Klemmschrauben. Ausserdem haben die Achsen aussen einen Rändelkopf und einen Hartgummigriff, mittels welchem sich die Achsen drehen lassen. Im Inneren der Glocke ist auf den Achsen je ein gebogener seitlicher Arm angebracht, der in einen Platindraht endigt. Die Anordnung ist so getroffen, dass man durch eine Drehung am aussen befindlichen Hartgummigriff die an den Ladevorrichtungen befindlichen Platindrähte mit den an den Kondensatorstangen, bezw. am Elektrometer befindlichen seitlichen Platindrähten in Berührung bringen kann. Der ganze Apparat ist auf ein kräftiges Holzbrett, das auf drei Stellschrauben ruht, montiert.

Nachdem der Apparat auf einem festen Wandkonsol mit äusserster Sorgfalt so aufgestellt und justiert war, dass das Elektrometer die höchste Empfindlichkeit zeigte, und dass sich beim Bewegen der oberen Kondensatorplatte dieselbe genau parallel der unteren bewegte (auf die Ausführung der Justierung gehe ich hier nicht ein), liess sich nachweisen, dass eine Hebung bezw. Senkung der oberen Platte mit Sicherheit Trennung oder möglichst vollkommene Berührung der beiden Platten herstellte. Da aber bei den seitlichen Berührungen mit den Ladevorrichtungen leicht eine minimale Verkantung der einen oder anderen Kondensatorplatte eintrat, welche dann unbeabsichtigte Berührung bewirken konnte, so wurde später bei den Versuchsreihen dauernd mit einem Plattenabstande von 0,05 mm gearbeitet. Dieses entspricht bei den vorliegenden Dimensionen der Platten ziemlich genau der Verstärkungszahl 100 des Kondensators. Es war also bei dieser Anordnung möglich, noch Spannungen von 0,01 Volt sicher nachzuweisen. Spätere Versuche ergaben die Richtigkeit dieser Genauigkeit.

Bei der Ausführung der Spannungsmessungen war die Zinkplatte dauernd unten auf dem Elektrometer befestigt, die Kupferplatte war die bewegliche obere Platte. Die Spannungsmessungen wurden nach der Kompensationsmethode in folgender Weise ausgeführt:

Der untere Ladearm stand durch einen Draht in leitender Verbindung mit der Grundplatte und dem Gehäuse des Elektrometers, welche ihrerseits dauernd mit der Erde leitend verbunden waren. Als Erde, also als Nullspannung diente bei allen Versuchen eine Ansteckdose, die in unmittelbarer Nähe des Apparates an der Wand befestigt war, und die durch einen dicken Kupferdraht mit der Gas- und Wasserleitung des Gebäudes durch Lötung verbunden war. An dieselbe Ansteckdose war der negative Pol eines Akkumulators, die negative Klemme eines Weston-Voltmeters und das eine Ende eines 2 m langen, über einer Teilung aufgespannten Nickelindrahtes leitend angeschlossen. Der zweite Pol des Akkumulators war unter Zwischenschaltung eines Ausschalters an das andere Ende des Nickelindrahtes angeschlossen, sodass längs des ganzen Drahtes die Spannungsdifferenz von 2 Volt, also pro Centimeter die Spannungsdifferenz 0,01 Volt herrschte.

Der obere Entladearm des Apparates war mit der positiven Klemme des Voltmeters und mit einer auf dem Nickelindrahte verschiebbaren Klemme verbunden. Man konnte also die an dem oberen Entladearm herrschende Spannung sowohl am Messdraht, wie am Voltmeter ablesen. Da es sich nur um statische Ladungen des Ladearmes oder der Kondensatorplatten handelt, war der Einfluss der Drahtverbindungen gleich Null. Die beiden Kondensatorplatten waren vor dem Einsetzen in den Apparat eben geschliffen und poliert, dann waren sie einen Tag lang der freien Zimmerluft ausgesetzt.

Nachdem so die Versuchsreihe vorbereitet war, wurde die obere Kondensatorplatte der unteren bis auf 0,05 mm genähert und durch Drehung der oberen Platte die leitende Verbindung der beiden Platten durch die angesetzten Platindrähte hergestellt. Dann wurde durch Rückwärtsdrehen der Platte die leitende Verbindung wieder unterbrochen und die obere Platte gehoben. Ein starker Ausschlag des Blättchens zeugte von positiver Spannung der Zinkplatte.

Nun wurde die obere Platte wieder gesenkt und durch Drehen der Ladearme und Verschiebung der Klemme auf dem Nickelindrahte versucht, der oberen Platte eine solche Ladung mitzuteilen, dass beim Hochheben der oberen Platte kein Ausschlag erfolgte. Dieses trat ein, als man der oberen Platte eine positive Ladung von 0,86 Volt zuführte und nach dieser Zuführung den Ladearm wieder zurückdrehte. Es war also bei einer künstlich zugeführten positiven Spannung von 0,86 Volt jede kondensatorische Wirkung der oberen Platte beseitigt; daraus folgt, dass die obere Platte ohne diese künstlich zugeführte Ladung gegenüber der unteren Platte eine negative Ladung von 0,86 Volt hatte. Diese beobachtete Spannung stimmt auch mit den sonst beobachteten Spannungen im wesentlichen überein.

Betrug die zugeführte Spannung mehr als 0,87 Volt oder weniger als 0,85 Volt, so trat beim Hochziehen der oberen Platte jedesmal ein Ausschlag ein.

An drei aufeinander folgenden Tagen, am 4., 5. und 6. August, wurden diese Beobachtungen viele hundert Mal mit genau demselben Erfolge wiederholt.

Nun wurde die Glasglocke mit Leuchtgas gefüllt, indem das Leuchtgas durch den oberen Hahn einströmte und den Apparat durchströmte. Eine mehrfach wiederholte Messung der oben beschriebenen Art wurde dann noch am selben Tage und am folgenden Tage gemacht. Die Messung ergab genau dasselbe Resultat. Darauf wurde die Glasglocke mittelst einer Quecksilberluftpumpe evakuiert, wieder mit Leuchtgas gefüllt und wieder evakuiert. Auch jetzt trat keine Spannungsänderung ein. Nachdem die Glocke im evakuierten Zustande einen Tag lang gestanden hatte, wurde sie mit elektrolytisch entwickeltem Wasserstoffgase gefüllt. Dann wurde dieselbe Füllung nach jedesmaligem Leerpumpen an 10 aufeinander folgenden Tagen wiederholt. Zwischendurch blieb die Glocke zweimal einen Tag lang im evakuierten Zustande stehen. Auch jetzt änderte sich die Spannung nicht. Hierauf fand eine zweimalige Füllung mit Stickstoff, eine einmalige Füllung mit Kohlendioxyd und eine zweimalige Füllung mit Sauerstoff statt. Die letzte Sauerstofffüllung blieb dann bis zum 12. September unter der Glocke, an welchem Tage ich den Apparat auseinander nahm, um ihn für den heutigen Vortrag einzupacken.

Da nun bei allen diesen Versuchen absolut keine Veränderung der Spannung eintrat, so kann ich mir nicht recht vorstellen, wie man sich die chemische Wirkung der Gase denken soll. Auch wenn man annimmt, dass trotz aller Evakuierung und sorgfältiger Ausspülung der Glocke mit anderen Gasen noch Sauerstoffspuren vorhanden gewesen sind, die chemisch hätten einwirken können, so hätte nach meinem Dafürhalten wenigstens eine merkbare Veränderung der Spannung eintreten müssen; oder sollten diese Sauerstoffspuren ein unerschöpflicher Born für elektrische Spannungen sein?

Ich habe die Absicht, dieselben Versuche noch auf einen längeren Zeitraum auszudehnen und werde zu gegebener Zeit die Versuchsresultate veröffentlichen. Die hier mitgeteilten Beobachtungen schienen mir aber schon der Mitteilung wert zu sein.

Ich kann mir nach diesen Messungsresultaten die entstehende oder vielmehr bestehende Spannungsdifferenz nur so vorstellen, wie es schon von Helmholtz in klarer Weise auseinander gesetzt ist, dass nämlich jedes Metall eine ihm eigentümliche spezifische Spannung besitzt, die es sofort annimmt, wenn es leitend mit dem Nullpotential der Erde verbunden ist. Diese spezifische Spannung ist aber energetisch unwirksam, sodass also zwei verschiedene Metalle, die ihre spezifische Spannung schon angenommen haben, ihre verschiedenen Spannungen nicht ausgleichen, dass aber, wenn sie dieselben noch nicht besitzen, so lange ein Überströmen elektrischer Ladung von dem einen zum anderen Metall erfolgt, bis die normale Spannungsdifferenz eingetreten ist.

Diese Ansicht widerspricht auch keineswegs dem Energiegesetze, wenn man nur bei den Metallen wohl unterscheidet zwischen der wirklich herrschenden und der energetisch wirksamen Spannungsdifferenz.

Wenn man die bei den beschriebenen Versuchen herrschende Anordnung schematisch aufzeichnet und dann den Energie-Inhalt der bewegten Kondensatorplatte berechnet, so kommt man zu einem Urteil über den zur Bewegung der Platte erforderlichen mechanischen Arbeitsaufwand und über die bei der Berührung der Platten zum Ausgleich kommende elektrische Energie, die dann in Form von Stromwärme an die Umgebung abgegeben wird.

Es stelle L Fig. 2 eine kapazitätsfreie mit der Erde verbundene Leitung dar, an die an dem einen

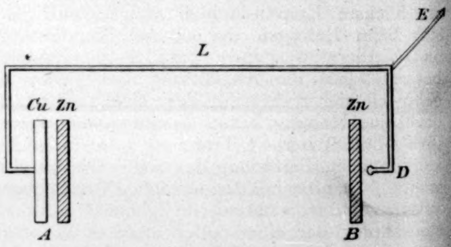


Fig. 2.

Ende die Kupferplatte Cu festgelötet ist. Das andere Ende der Leitung endige in derselben Horizontalebene in D. Eine Zinkplatte Zn möge horizontal beweglich so angebracht sein, dass sie ohne Erzeugung von mechanischer Lage-Energie sowohl mit Cu in Berührung gebracht werden (Stellung A), wie auch mit dem kapazitätsfreien Ende D der Leitung berührt werden kann (Stellung B).

Die auf der Kupferplatte wegen der dauernden Verbindung mit der Erde dauernd gleichbleibende Spannung, möge als „Nullspannung" angenommen werden.

Macht man nun die Annahme, dass sich bei Berührung der Zinkplatte mit der Kupferplatte auf der Zinkplatte die dem Zink normal zukommende, oder die dem Zink spezifische Spannung V herstellt, so lässt sich der Energie-Inhalt der Zinkplatte in den Stellungen A und B sowohl vor als nach der Berührung berechnen. Dabei ist aber auf einen wichtigen Unterschied aufmerksam zu machen. Da nämlich nach der

oben gemachten Annahme die normale Spannung des Zinks gleich V ist, so kann, wenn das Zink diese Spannung besitzt, bei der Berührung des Zinks mit dem Kupfer kein Spannungsausgleich erfolgen, es kann also weder ein Strom, noch Stromwärme entstehen. Ein solcher Spannungsausgleich und daher auch Wärmeerzeugung erfolgt nur, wenn diese normale Spannung gestört ist, sei es nun, dass das Zink eine höhere oder eine niedere als diese normale Spannung hat. Wir haben also bei der Berechnung der auf dem Zink herrschenden Spannung die wirkliche, also thatsächlich herrschende Spannung von der verfügbaren, also energetisch wirksamen oder nutzbaren Spannung zu unterscheiden. Diese energetisch wirksame Spannung ist gleich der um V verminderten wirklichen Spannung.

In derselben Weise ist dann auch der scheinbare Energie-Inhalt, der sich aus der wirklichen Spannung berechnet, zu unterscheiden von dem wahren Energie-Inhalt, der nur von der energetisch wirksamen Spannung herrührt.

Wir nehmen nun ferner an, dass die freie Zinkplatte ohne Annäherung an die Kupferplatte die Kapazität K hat, und dass sie kurz vor der Berührung oder im Augenblicke der Berührung mit der Kupferplatte in A die Kapazität $n\ K$ hat, wo also n die Verstärkungszahl des Kondensators (bei meinen Versuchen 100) bedeutet. Die Werte des nach diesen Auseinandersetzungen berechneten Energie-Inhalts der Zinkplatte in den Stellungen A und B vor und nach der Berührung sind in folgender Tabelle zusammengestellt:

	Kapazität	wirkliche Spannung	verfügbare, energetisch wirksame Spannung	scheinbarer Energie-Inhalt	wahrer Energie-Inhalt	$\frac{1}{2}(n-1)^2KV^2=E$ gesetzt
in A nach Berührung	nK	V	$V-V=0$	$\frac{1}{2}nKV^2$	$\frac{1}{2}nKO^2=0$ =	$A_2=0$
in B vor Berührung	K	nV	$nV-V=(n-1)V$	$\frac{1}{2}n^2KV^2$	$\frac{1}{2}(n-1)^2KV^2$ =	$B_1=E$
in B nach Berührung	K	V	$V-V=0$	$\frac{1}{2}KV^2$	$\frac{1}{2}KO^2=0$ =	$B_2=0$
in A vor Berührung	nK	$\frac{1}{n}V$	$\frac{1}{n}V-V=\frac{(n-1)V}{n}$	$\frac{1}{2}\frac{1}{n}KV^2$	$\frac{1}{2}nK\frac{(n-1)^2V^2}{n^2}$ =	$A_1=\frac{1}{n}E$

Mittels dieser Werte ist sowohl der mechanische Arbeitsaufwand bei der Bewegung der Zinkplatte von A nach B und umgekehrt, nachdem jedesmal in der Anfangsstellung der Bewegung die Zinkplatte die Kupferplatte oder den Draht D berührt hatte, wie auch der bei der Berührung in A und B entstehende Strom, bezw. die entstehende Stromwärme zu berechnen. Es ergiebt sich hieraus:

Mechanischer Arbeitsaufwand.

1. Bei Bewegung von A nach B: . . . $B_1 - A_2 = E$
2. Bei Bewegung von B nach A: . . . $A_1 - B_2 = \frac{1}{n}E$

Strom-Energie.

1. Bei Berührung der Platten in B: . . . $B_1 - B_2 = E$
2. Bei Berührung der Platten in A: . . . $A_1 - A_2 = \frac{1}{n}E$

Es kommt also jedesmal nach Ausführung der Bewegung in einem oder anderem Sinne mit nachfolgender Berührung der ganze mechanische Arbeitsaufwand wieder in Form von Stromwärme zum Vorschein, und zwar, und das ist besonders hervorzuheben, in Form von positiver Stromwärme. Es bedarf also nicht des Heranziehens von Peltierscher Kälte, um das Entstehen des normalen Zustandes zu erklären. Es bedarf nur der Annahme, dass ein solcher normaler Zustand existiert. Glaubt man an diesen normalen Zustand nicht, so ist allerdings auch die Energieberechnung anfechtbar. Ungezählte Versuche haben aber diese normale Spannungsdifferenz konstatiert, ja die von den verschiedensten Forschern mitgeteilten Werte derselben stimmen überein. Die Ihnen heute demonstrierte Versuchsanordnung ist nur eine neue Anordnung, die die Heranziehung oder die Notwendigkeit chemischer Kräfte mindestens unwahrscheinlich macht.

Gestatten Sie mir zum Schluss noch, Ihnen einen kleinen Apparat zu demonstrieren, mittels welchem es mir gelungen ist, auch ohne Kondensator die elektrische Spannungsdifferenz der beiden Metalle Zink und Kupfer direkt nachzuweisen. Der Apparat lässt die Frage nach der Herkunft der Ladung unberührt. Wenn man den Apparat, ähnlich wie das Elektrometer bei der vorhin beschriebenen Versuchsanordnung, in einen allseitig geschlossenen Raum einbaut und dann diesen Raum mit den verschiedensten Gasen füllt, so wird er auch auf diese Frage Antwort geben.

Der Apparat Fig. 3 besteht aus einem durch zwei Glasplatten verschlossenen Messinggehäuse mit einem darauf gesetzten Glasrohr, das einen seitlichen Ansatz für die Spiegelablesung trägt. Das Glasrohr trägt an seinem oberen Ende die

Aufhängevorrichtung für ein kreisförmiges Messingblech, das sich im unteren Gehäuse zwischen zwei gleichgrossen Metallplatten drehen kann. Die Metallplatten sind kreisförmig, bestehen aber jede zur Hälfte aus Zink, zur Hälfte aus Kupfer, welche beide Hälften längs eines Durchmessers der kreisförmigen Scheibe zusammengelötet sind. Die beiden Metallplatten sitzen an den Enden zweier Messingstangen, die je in einer durch die Wände des Gehäuses gehenden Führung drehbar sind. Es ist bei der Herstellung des Apparates besonders Gewicht darauf gelegt, dass die beiden Führungen

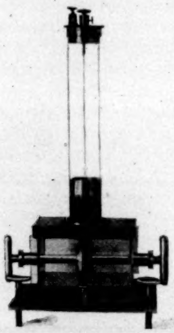


Fig. 3.

und die in denselben sich drehenden Messingstangen dieselbe Achse haben, sowie auch, dass bei der Drehung der Messingachsen die beiden Platten sich drehen, ohne im geringsten zu schlagen. An jeder Messingachse ist aussen eine Querstange angebracht, die der Trennungslinie der beiden Metalle parallel läuft. Ausserdem sitzt auf jeder Führungsachse ein feststellbarer Anschlagring. Wenn man die Achse in der Führung um 180^0 dreht, so wird hierdurch bewirkt, dass die Zink- und die Kupferhälfte der Metallscheiben ihre Lage miteinander vertauschen, ohne dass sonst irgend welche Änderung an dem Apparate eintritt.

Die zwischen den Zink-Kupferplatten hängende Messingscheibe hängt an dem auf dem Glasrohr sitzenden Torsionskopf mittels eines dünnen Metallfadens. Durch eine auf dem Torsionskopfe sitzende Klemmschraube kann der Messingscheibe eine beliebige elektrische Ladung zugeführt werden. Endlich ist an der verlängerten Achse der Messingscheibe ein Ablesespiegel angebracht.

Wenn man nun die beiden geteilten Metallscheiben der dazwischen hängenden Messingscheibe bis auf 1 mm nähert und durch Verstellung der Fussschrauben, sowie durch Drehen des Torsionskopfes es dahin bringt, dass die Messingscheibe genau mitten zwischen den geteilten Metallscheiben hängt, so wird, wenn die Aufhängung vollständig symmetrisch ist, die Messingscheibe auch dann ihre Lage unverändert beibehalten, wenn man ihr eine positive oder negative Ladung zuführt. Solch eine symmetrische Lage tritt dann ein, wenn die Trennungslinie der beiden Metalle auf den Platten horizontal ist und bei beiden Platten entweder das Zink oder das Kupfer die obere Hälfte bildet. Desgleichen tritt kein Ausschlag auch bei Zuführung irgend welcher Ladung ein, wenn bei beiden Platten die gleichen Metallhälften gleichzeitig vorn oder gleichzeitig hinten sind. Wenn man aber die Platten so dreht, dass bei der einen Platte die Zinkhälfte vorn, die Kupferhälfte hinten, bei der zweiten Platte dagegen die Kupferhälfte vorn und die Zinkhälfte hinten ist, so tritt bei Ladung der Messingscheibe eine Drehung ein. Der Sinn der Drehung ist nun stets so, dass das Zink positiv und das Kupfer negativ erscheint. Bei Vertauschung des Vorzeichens der Ladung oder nach Drehung der Metallplatten um 180^0 erfolgt die Drehung der Messingscheibe stets im umgekehrten Sinne.

Bei dem vor Ihnen stehenden Apparate betrug der beiderseitige Ausschlag bei einer zugeführten Ladung von 30 Volt Spannung und dem vorhin angegebenen Abstande ungefähr 10 Minuten.

Ich habe noch nicht die Zeit gehabt, den Apparat sorgfältiger ausführen zu lassen, doch hoffe ich, dass besonders bei empfindlicherer Aufhängung auch schon geringere zugeführte Ladungen einen Ausschlag bewirken. Ich hatte die Absicht, statt des Messingbleches eine Doppelplatte aus Zink und Kupfer zwischen den beiden geteilten Metallplatten aufzuhängen, um so direkt die gegenseitige anziehende Wirkung der Metalle ohne zugeführte Ladung zu untersuchen. Bei dem hier vorgeführten Apparate zeigte aber eine solche dazwischen gehängte Doppelplatte keinerlei Wirkung. Ob das auf die Unempfindlichkeit des Apparates zu schieben ist, oder ob trotz verschiedener Spannung keine gegenseitige Anziehung erfolgt (und das letztere vermute ich), werde ich untersuchen, sobald die Herstellung eines empfindlicheren Apparates erfolgt ist. Es war mir aber nicht möglich, einen solchen Apparat vor der Naturforscherversammlung noch fertig zu stellen, geschweige denn, die Versuchsresultate hier mitzuteilen.

(Selbstreferat des Vortragenden.)

Diskussion.

Kaufmann (Göttingen): Mir ist nicht klar geworden, was mit den energetischen Aus-

führungen bezüglich der Theorie der Kontaktelektrizität bewiesen werden soll. Was der Vortragende bewiesen hat und berechnet, ist ein Elektrophor, bei dem an Stelle der Reibungs-, Kontaktelektrizität als Quelle dient.

Dass eine solche Kontakt-Potentialdifferenz der Metalle existiert, daran ist ja niemals ein Zweifel geäussert worden. Die Frage ist nur, woher die Potentialdifferenz kommt. Dass das Energiegesetz stimmt, das ist ja von selbst klar bei der Bewegung eines Elektrophors.

Was den zweiten Apparat anbetrifft, dass man da Ausschläge bekommt, und bekommen muss, ist ja wohl auch bekannt. Es existiert eine ausführliche Abhandlung von Hallwachs, in der darauf hingewiesen ist.

Voller (Hamburg): Die Versuche sind zwar interessant und mögen wohl noch nach der einen oder anderen Richtung weiteren Aufschluss geben. Auf eines möchte ich aber gegen Herrn Grimsehls Auffassung aufmerksam machen. Die Frage ist, worauf ja auch Herr Kaufmann hinweist, worin liegt die Energiequelle? Nach unserem Wissen können wir nur zwei Energiequellen in Betracht ziehen, chemische oder thermische. Die thermische Energie ist jedenfalls sehr klein, die chemische zieht der Herr Vortragende in Zweifel.

Würde nun, wie Herr Grimsehl annimmt, diese elektrische Erregung bedingt sein durch einen jedem Metall eigenthümlichen elektrischen Zustand, den es dauernd besitzt, so würde folgendes schwer zu verstehen sein: Habe ich ein Elektrometer isoliert mit einem isolierten Metalle verbunden, so bleibt der Ausschlag dauernd, wochenlang, derselbe. Nun weiss ich, dass vom Elektrometer aus dauernd eine Zerstreuung der Ladung stattfindet. Wenn ich nun beobachte, dass die dauernde Verbindung mit dem Metalle einen dauernden gleichmässigen Ausschlag giebt, so heisst das, dass von dem Plattenpaar ein dauernder Zufluss von Elektrizität zur Ersetzung der Zerstreuung zum Elektrometer geht. Es fliesst also Elektrizität kontinuierlich hinein, wenn auch in sehr geringer Menge. Dann kann ich aber nicht annehmen, dass die Energiequelle durch einen Vorgang geliefert ist, der vor unendlich langer Zeit einmal gewirkt hat. Da wir einen kontinuierlichen Zufluss von Elektrizität haben, so muss eine kontinuierlich wirkende Energiequelle vorhanden sein, und da weiss ich wie gesagt nicht, was man an die Stelle setzen soll, wenn nicht elektrochemische oder elektrothermische Vorgänge diese Energie immer nachliefern sollen.

Lecher (Prag): Ich möchte eine Frage an Herrn Voller richten. Wie denkt er sich die Verbindung mit dem Elektrometer? Ein Zinkstab, der in der Luft steht, und dann zum Elektrometer geht? (Voller: ja, ja.) Da wird die Ladung des Zinkstabes, wenn er monatelang im Vakuum ist, allmählich sinken, wenn derselbe im Vakuum sich befindet und in dem Moment, wo ich durch Erdleitung vorübergehend abgeleitet habe, bekomme ich keinen Ausschlag.

Voller: Die Erfahrung lehrt doch die Konstanz des Ausschlages. Ich habe das Elektrometer lange Zeit stehen lassen und stets denselben Ausschlag bekommen. Ich sehe hier von der Theorie ganz ab. Ich weiss aber, dass das Elektrometer Elektrizität zerstreut, und dass ein kontinuierlicher Zufluss von Elektrizität erfolgt. Es muss also auch eine kontinuierlich wirkende Energiequelle da sein.

Kaufmann: Hat Herr Voller bei der Vergleichung der Zerstreuungsgeschwindigkeit mit und ohne angeschaltetes Plattenpaar auch auf die Veränderung der Kapazität Rücksicht genommen?

Voller: Nein, das ist nicht geschehen! Es kam dies nicht in Betracht, weil ja keine Abschaltung des Zinkstabes während der Beobachtungsdauer stattfand.

Grimsehl: Gegenüber den Erklärungen des Herrn Voller erwidere ich, dass die zwei Platten, nachdem sie künstlich auf die Spannungsdifferenz Null gebracht waren und dann in einem gegenseitigen Abstande von 0,05 mm einen Tag lang gestanden hatten, infolge der zerstreuenden Wirkung der Luft wieder eine Spannungsdifferenz erreichten. Die zerstreuende Wirkung der Luft besteht also hierbei nicht in der Beseitigung der Spannungsdifferenz, sondern in der Herstellung derselben. Aus diesem Grunde kann also kaum davon geredet werden, dass zwischen den beiden verschieden geladenen Platten infolge der Luftleitung ein andauernder Strom entsteht. Aus diesem Grunde ist auch kein Energieverlust vorhanden, also keine Energiezufuhr notwendig. Ferner hebe ich den Entgegnungen von Herrn Kaufmann gegenüber hervor, dass bei der Energie-Bilanz nicht etwa Annahme von negativer Stromwärme bei der Berührung der Platten in *A*, also nicht die Annahme von Peltier-Kälte nötig ist. Dieses nachzuweisen, dazu sollte die Energie-Bilanz dienen, da von vielen Gegnern der Kontakt-Theorie stets eine Peltier-Kälte bei der Berührung herausgerechnet wird. Das rührt daher, dass von den Gegnern angenommen wird, dass zur Erhöhung der Spannungsdifferenz auf die normale Höhe dem System Arbeit zugeführt werden müsste, während das in Wirklichkeit nicht der Fall ist.

Aus der Energie-Bilanz Schlüsse gegen die chemische Theorie zu ziehen, war nicht der Zweck derselben. Die Beweise gegen die chemische Theorie liegen in der Konstanz der

beobachteten Spannungsdifferenz innerhalb der mit den verschiedensten Gasen gefüllten Glasglocke.

Ich betone aber, dass ich die Versuche auf einen längeren Zeitraum fernerhin noch auszudehnen die Absicht habe. Mein bisheriger Bericht bezieht sich nur auf den Zeitraum von 5 Wochen. Daher kann ich auch noch nicht wissen und behaupten, was nach einem Jahre geschehen ist. Ich werde zu gegebener Zeit die Versuchsresultate veröffentlichen. Sollte nach einem längeren Zeitraume eine Veränderung eintreten, so würde das natürlich ein Beweis gegen die Kontakt-Theorie sein.

Nernst (Göttingen): Elektrolytisch entwickelter Wasserstoff enthält immer noch merkliche Mengen von Sauerstoff, und relativ geringe Konzentrationsänderungen des Sauerstoffs werden einen geringen Effekt haben. Wie ist bei den Versuchen dafür gesorgt, dass der Sauerstoff vollständig entfernt war?

Grimsehl: Eine vollständige Befreiung von Sauerstoff ist überhaupt nicht möglich, wie wir ja gestern durch den Vortrag des Herrn Warburg gesehen haben. Ich habe elektrolytisch entwickelten Wasserstoff zum Ausspülen der Glocke benutzt, nachdem die Glocke luftbar gemacht wurde und habe dieses Verfahren 10 mal wiederholt. Sollten aber die kleinen Spuren von Sauerstoff, die bei diesem Verfahren noch unter der Glocke geblieben sind, ebenso wirken wie reiner Sauerstoff, und die anderen Gase garnicht? Das ist es, was mir unwahrscheinlich erscheint.

Nernst: Die Berechnungen zeigen das doch wohl. Meine Anregung ging nur dahin, bei diesen interessanten Versuchen, die Herr Grimsehl wohl fortsetzen wird, den Wasserstoff möglichst weit vom Sauerstoff zu befreien. Das beste Mittel dazu scheint mir, den Wasserstoff über glühenden Platin-Asbest zu leiten. Ich möchte mir die Vorhersagung gestatten, dass dieser Wert von 0,86 Volt sich ändern wird, wenn in dieser Weise der Wasserstoff vom Sauerstoff und auf geeignete Weise vielleicht auch vom Wasserdampf befreit werden kann.

Grimsehl: Das ist sehr wohl denkbar; ich werde bei der Fortsetzung der Versuche bestrebt sein, eine noch weitergehende Befreiung des Raumes von Sauerstoff herzustellen, wie es bisher möglich war.

J. Traube (Berlin), Beitrag zur Theorie von van der Waals.

Bezugnehmend auf die Arbeiten von Galitzine, de Heen, Dwelshauwers-Dery u. a. hatte der Verf. im Anschluss an die Theorie von van der Waals speziell über den kritischen Zustand gewisse Ideen entwickelt, die in Annalen der Physik (8, 267, 1902) veröffentlicht wurden, und zu einer merkwürdigen Hypothese geführt haben, nach welcher die kritische Temperatur keine Kontinuitätsgrenze in dem bisherigen Sinne ist, sondern auch oberhalb der kritischen Temperatur innerhalb einer gewissen kritischen Periode bis zum absoluten Vergasungspunkt ein Gleichgewicht zwischen zwei Molekülarten besteht, Gasonen und Fluidonen, welche sich durch verschiedenes Volumen unterscheiden. Ganz allgemein wurde gezeigt, dass bei der Verdampfung einer Flüssigkeit nicht nur, wie man bisher annahm, der Zwischenraum, das Kovolumen, sich vergrössert, sondern es wächst auch der Eigenraum der Molekel, die Grösse b in der van der Waalsschen Gleichung. Es giebt also, in Übereinstimmung mit neueren Annahmen von van der Waals selbst, 2 b-Werte, welche etwa in dem Grössenverhältnis 2:1 stehen. Die Fluidonen sind sowohl in der Gasogenen-Phase löslich wie umgekehrt. Das, was wir gesättigte Dämpfe nennen, sind Lösungen von Fluidonen in der Gasogenen-Phase. Andererseits ist eine homogene Flüssigkeit als eine Lösung von Gasonen in der Flüssigkeitsphase aufzufassen. Jeder Temperatur entspricht ein bestimmter Gleichgewichtszustand. Beim absoluten Nullpunkt ist die Zahl der Gasonen gleich Null, und sie wächst mit zunehmender Temperatur. Verfasser hat früher das Mengenverhältnis von Gasonen und Fluidonen in den verschiedensten homogenen Flüssigkeiten für die verschiedensten Temperaturen bestimmt. In seinem Vortrage weist nun Verfasser auf eine Anzahl neuerer Untersuchungen hin, die sämtlich zu Gunsten seiner Hypothese sprechen. Vor allem erwähnt er die Untersuchungen von A. Schükarew in Moskau. Derselbe hat nach direkter Methode die Verdampfungswärme bei der kritischen Temperatur bestimmt, indem er beispielsweise Äthyläther, welcher in einem Platinrohr eingeschmolzen war, über die kritische Temperatur erhitzte, sowie eine gewisse Anzahl Grade unter der kritischen Temperatur, und die Röhrchen in einem gegebenen Moment in ein Kalorimeter fallen liess. Aus der Differenz lässt sich in bekannter Weise die Verdampfungswärme bei der kritischen Temperatur berechnen. Nach den üblichen Annahmen über das Wesen des kritischen Zustandes soll die Verdampfungswärme bei der kritischen Temperatur gleich Null sein. Verfasser hatte indessen vorausgesagt, dass dies nicht unter allen Umständen der Fall sein könnte. Die Verdampfungswärme einer nicht assoziierten Flüssigkeit, wie Äthyläther, müsste nach des Verfassers Hypothese mit der Menge der Flüssigkeit im Rohre variieren und nur dann gleich Null sein, wenn bei der kritischen Temperatur der Meniskus am unteren und oberen Ende des Rohres verschwand. Für diejenige Dichte, welche der

normalen Dichte entsprach, musste ein Maximum der Verdampfungswärme vorhanden sein.

Schükarews Untersuchungen bestätigten diese Annahme des Verfassers in vollstem Masse. Die Verdampfungswärme des Äthyläthers beträgt bei der kritischen Temperatur im Maximum 2840 cal. pro Molekül, während der Verfasser aus der Verschiebung der Gleichgewichtskonstanten den betreffenden Wert zu

$$\frac{4200 \cdot \sqrt{2}}{2} = 2970 \text{ cal.}$$

pro Gramm-Molekül berechnete.

Bei einer assoziierten Flüssigkeit, dem Isopropylalkohol, trat wegen der Spaltung der Doppelmoleküle oberhalb der kritischen Temperatur jenes Maximum nicht ein.

Verfasser hat sodann zum ersten Male die van der Waalssche Gleichung auf den festen Zustand, und zwar auf feste Elemente angewendet, indem er die Konstanten a und b aus den Volumenwerten bei verschiedenen Temperaturen berechnete. Es zeigte sich, dass die Kovolumina $v-b$ der Elemente ganz allgemein wesentlich kleiner sind als diejenigen der Verbindungen. Bei den Metallen wachsen die Kovolumina allgemein mit den Atomräumen und zwar geradlinig, während bei den Metalloiden aus bekannten Gründen sich Unregelmässigkeiten zeigen.

Der Ausdehnungskoeffizient des Kovolumens

$$\frac{1}{v-b}\,\frac{dv}{dt}$$

berechnet sich in überraschender Weise für alle Elemente mit Ausnahme der Halogene Chlor und Brom sehr angenähert zu $^1/_{273}$. Daraus folgt, dass der innere Druck mit der Temperatur sich nicht ändert, sowie ferner, dass die gesamte Ausdehnung, welche ein Element durch die Wärme erfährt, in der Ausdehnung des Kovolumens besteht, dass somit die Konstante b von der Temperatur unabhängig ist. Dieser Umstand bildet eine wertvolle Bestätigung der Annahmen, die den Verfasser zu der Gasonenhypothese führten.

Für Verbindungen ergab sich der Ausdehnungskoeffizient des Kovolumens aus bekannten Ursachen grösser als $^1/_{273}$, meist schwankte er um den Wert $^2/_{273}$. Auffallend ist es, dass Brom und Chlor sich in dieser Beziehung wie Verbindungen verhalten. Vermutlich ist die hier vorhandene Abweichung und die hohe Molekular- spec. Wärme der gasförmigen Elemente auf dieselbe Ursache zurückzuführen.

Die inneren Drucke der Elemente waren zum Teil ausserordentlich gross. Es zeigte sich, dass bestimmte Eigenschaften, wie die Härte und Elastizität, diesen inneren Drucken parallel gingen, namentlich gelang es dem Verfasser, den Einfluss kleiner Kohlenstoffmengen u. s. w. auf die Härte der Metalle qualitativ und quantitativ zu begründen. So berechnete er auf Grund der van der Waalsschen Theorie, dass Eisen im Maximum 0,287 Proz. Kohlenstoff in fester Lösung in Form der sogen. Härtungskohle lösen könne, während nach Benediks und anderen auf verschiedenen experimentellen Wegen sich als Löslichkeit 0,29 Proz. ergiebt.

Verfasser zeigt, dass der sogen. osmotische Druck in festen Lösungen nichts anderes ist, als eine Binnendrucksdifferenz.

Schliesslich findet Verfasser einfache Beziehungen der van der Waalsschen Gleichung zum Schmelzpunkt, Siedepunkt, zur Verdampfungswärme, zum Kompressionskoeffizienten und zur mittleren Weglänge der Atome. Die Weglängen der Metallatome ergeben sich nicht nur von derselben Grössenordnung, wie die früher von Riecke und G. Meyer aus der Diffusionsgeschwindigkeit bestimmten Werte, sondern die Werte sind auch einander annähernd proportional.

Den Siedepunkt des Diamanten berechnet Verfasser annähernd zu etwa 20000°.

(Selbstreferat des Vortragenden.)

(Keine Diskussion.)

W. Marckwald (Berlin), Das radioaktive Wismut (Polonium).

Das wesentlichste ist bereits in den Berichten der chemischen und physikalischen Gesellschaft veröffentlicht. Ich hoffte trotzdem, wesentlich Neues vortragen zu können, eine Hoffnung, die sich namentlich in Bezug auf die chemische Seite aus Mangel an Material bisher leider nicht erfüllt hat. Dann aber glaube ich, dass es Sie auch interessieren wird, die Erscheinungen zu sehen, und nicht bloss aus der Beschreibung kennen zu lernen. Auch ein lokales Interesse kommt dazu, weil der Fundort der Joachimsthaler Pechblende, zu deren Bestandteilen ja auch das von mir untersuchte Metall gehört, wenige Kilometer von hier entfernt liegt.

Zuerst ist ja an dem Uran selbst die Wirkung von Becquerel entdeckt worden, die man als Becquerelstrahlen bezeichnet hat. Dann haben die Curies aus der Pechblende Wismut abgeschieden, welches viel stärker radioaktiv war, als das Mineral selbst. Das so abgeschiedene Wismutoxychlorid soll aber nach den Angaben seiner Entdecker und derer, die sich später damit beschäftigt haben, seine Wirksamkeit allmählich eingebüsst haben. Ich beschäftigte mich zufällig mit Rückständen von der Uran-Fabrikation, und so geriet mir das Polonium in die Hände. Erst als ich an einer kleinen Menge vor wenigstens neun Monaten nach längerer Zeit bemerkte,

dass die Aktivität der Substanz sich absolut nicht verminderte, habe ich mich mit der näheren Untersuchung dieses Stoffes befasst. Nach mehreren Versuchen, die aktive Substanz von dem inaktiven Wismut zu trennen, fand ich, dass man auf elektrolytischem Wege zu einem Ziel kam. Elektrolysierte man die Lösung vom Wismutchlorid in Salzsäure, so zeigte sich, dass die abgeschiedene Substanz aktiver war als die in Lösung gebliebene. Ich verfuhr nun so, dass ich in die Wismutchloridlösung einen Wismutstab tauchte; auf diesen setzte sich in kurzer Zeit ein feiner schwarzer Niederschlag ab, der das übliche Aussehen von derart abgeschiedenen Metallen zeigte. War $\frac{1}{2}$ ‰ so abgeschieden, so war das in Lösung gebliebene völlig inaktiv, während das Niedergeschlagene sehr aktiv war. (Der Unterschied der Wirkung wird gezeigt.) Die Stärke der Wirksamkeit hängt lediglich ab von der Verteilung von der Oberfläche des Metalls, die von dem wirksamen Metall bedeckt ist. (Es wird gezeigt, dass ein Stäbchen mit einigen Zehntel Milligramm Substanz und ein gleiches, von welchem die Substanz durch Abputzen bis auf unsichtbare Spuren entfernt ist, ziemlich gleiche Wirkung haben.) (Ein gründlich mit Salpeter- und Salzsäure ausgekochter und mit Seesand gründlich gescheuerter Platintiegel, in dem vor Monaten aktive Substanz sich befand, wirkt jetzt noch beinahe so stark wie die Stäbchen.)

Die Mengen der Substanz haben bisher nicht ausgereicht, um etwas wesentliches über die chemischen Eigenschaften zu ermitteln. 850 g Wismutoxychlorid, die aus der Pechblende gewonnen waren, habe ich zur Verfügung gehabt. Diese habe ich in der vorerwähnten Weise behandelt und erhielt durch Ablösen von der Wismutplatte, auf der sie niedergeschlagen war, etwa 0,6 g Substanz. Leider hat sich herausgestellt, dass doch noch trotz der Reinigung des Wismutoxychlorids die abgeschiedene Substanz Verunreinigungen mit herausgezogen hatte und auch Wismut enthielt, neben Wismut und Blei, das ja zu erwarten war, noch Spuren von Vanadin, Antimon, Tellur und auch noch von anderen Substanzen. Zur Darstellung des völlig reinen Metalls bin ich noch nicht gelangt. Nur zwei Beobachtungen will ich noch erwähnen und dann den chemischen Teil des Referats abschliessen. Ich wollte das Oxyd im Wasserstoffstrom zum Metall reduzieren. Ich bemerkte dabei zu meinem Schrecken einen Anflug an dem Porzellantiegel. Ich unterbrach sofort, und es zeigte sich in dem Tiegel, dass Krystalle sublimiert waren. Das Oxyd ist also flüchtig, und es wird mir, wenn ich wieder Substanz zur Verfügung habe, wohl leicht sein, die Substanz vom Wismut zu trennen.

Die zweite Beobachtung, die für die Reindarstellung der Substanz von Wichtigkeit werden dürfte, geht dahin, dass ebenso wie durch Wismut auch durch Antimon das Metall aus der Lösung niedergeschlagen werden kann.

Die Substanz ist also noch negativer wie Antimon. Deshalb vermute ich, dass die Substanz gar nicht in die Reihe Wismut-Antimon gehört, sondern wohl in die Reihe Schwefel-Tellur, wo noch ein Element fehlt, das dem Tellur folgen wird. Es ist nicht unwahrscheinlich, dass dieses fehlende Element die Eigenschaften eines solchen Metalles zeigen würde, wie sie in dem neu entdeckten Stoffe vorliegen.

Interessanter ist, was ich über die physikalischen Eigenschaften der Strahlen mitteilen kann, welche diese Substanz aussendet. Sie sind sehr verschieden von dem, was man Becquerel- oder Radiumstrahlen heisst. Die Radiumstrahlen sind ähnlich den X-Strahlen und werden durch feste Körper durchgelassen. Mit den Strahlen, die von meinem Metall ausgesendet werden, ist das gerade Gegenteil der Fall. (Zwei Stäbchen, in Seidenpapier eingeschlossen, wirken auf das Elektroskop fast gar nicht.) Ebenso hemmt Aluminiumfolie von $\frac{1}{100}$ mm Stärke. Bei irgend stärkerem Aluminium bekommt man nicht die Spur einer Wirkung auf das Elektroskop.

Die Strahlen zeigen auch sonst die Wirkung, die wir von solchen Strahlen zu sehen gewöhnt sind.

So wirken sie auf die photographische Platte. Auf eine Elektrode wurde etwas Substanz niedergeschlagen, dann ein Teil abgekratzt und die Elektrode wieder eingetaucht und von neuem etwas niedergeschlagen. Dieser Elektrode habe ich eine photographische Platte etwa 15 Minuten exponiert. Das Bild (s. Fig. 1) zeigt, dass in diesem Falle die abgekratzten Stellen eine merklich geringere Wirkung ausgeübt haben als die stärker belegten. In dieser Hinsicht unterscheidet sich die photographische Wirkung von derjenigen auf das Elektroskop und auf die

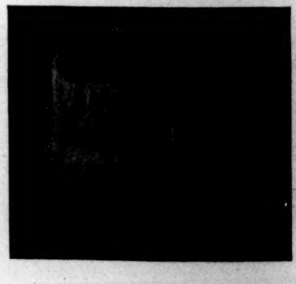


Fig. 1.

noch zu besprechenden phosphoreszierenden Substanzen. Die starke Absorbierbarkeit der Strahlen wird nun durch das Bild (Fig. 2) de-

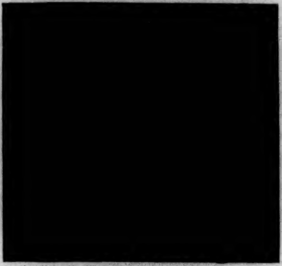


Fig. 2.

monstriert, bei welchem zwischen die photographische Platte und das Metall ein Seidenpapierblättchen gelegt war. Man sieht nicht nur die Konturen des Seidenpapierblättchens, sondern auch die Struktur desselben, die grössere und geringere Porosität an den verschiedenen Stellen tritt deutlich hervor. Bei einer Photographie mit Radiumstrahlen hat sich auch bei geringster Expositionszeit keine Spur einer hemmenden Wirkung des gleichen Seidenpapiers nachweisen lassen.

Die Undurchlässigkeit der Strahlen war die Ursache, weshalb ich die Wirkung auf den Baryum-Platin-Cyanürschirm, mit anderen Worten, die phosphoreszenzerregende Wirkung der Substanz anfänglich nicht erkannt habe. Die gewöhnlichen Röntgen-Schirme sind zum Schutze der Salzflächen mit Lack überzogen. Ich bekam bei dem Leuchtschirm zunächst nicht die Spur einer Lichteinwirkung. Ein Zufall führte mich auf die Ursache. Ich bemerkte in der Dunkelkammer, dass der Tisch, wo der Stab lag, leuchtete, der Stab war umgeben von einer Lichtaureole. Der Tisch war, wie ich fand, mit Zinkoxyd angestrichen, und ich fand, als ich dieses untersuchte, es sehr gut phosphoreszierend. Diese Wirkung ist umsomehr überraschend, als Radiumstrahlen auf Zinkoxyd nur eine sehr schwache Wirkung ausüben. Umgekehrt bringt meine Substanz Uransalze nur zu sehr schwacher Phosphoreszenz, auf welche bekanntlich Radiumstrahlen stark einwirken. Gleichgut wirken beide Arten von Strahlen auf Baryumplatincyanür, nur muss man einen Schirm ohne Lacküberzug verwenden. Selbstverständlich kann man auch in diesem Falle die Wirkung auf den Leuchtschirm nicht wie beim Radium beobachten, wenn man die aktive Substanz hinter den Schirm hält. Hält man sie aber vor den Schirm, so wird die Beobachtung dadurch erschwert, dass man sich mit dem Metall selbst die Betrachtung des phosphoreszierenden Fleckes behindert. Um daher einem Auditorium die Erscheinung vorführen zu können, empfiehlt es sich, den Leuchtschirm so herzustellen, dass man eine Glasplatte mit Baryumplatincyanür belegt und nun die Phosphoreszenzerscheinung von der Rückseite durch die Glasplatte beobachtet. Ein solcher Schirm ist mir von der bekannten Firma F. Ernecke in Berlin hergestellt werden. Mit einem auf ähnliche Weise hergestellten Zinkoxydschirm kann ich auch die Phosphoreszenz dieser Substanz zeigen.

Es bleibt noch eine kleine Beobachtung zu besprechen, die zeigt, dass diese Substanz auch vielleicht einer gewissen praktischen Anwendung fähig ist. Diamanten leuchten in X-Strahlen sowie in Radiumstrahlen, das ist bekannt. Sie leuchten auch, wenn sie mit einem solchen Stäbchen in Berührung gebracht werden oder auf eine solche Platte gebracht werden. Zufällig fand ich bei der Prüfung kleiner, einem alten Schmuck entstammenden Diamanten, dass von dem gesamten Vorrat drei Krystalle nicht phosphoreszierten. Sie waren nicht aus Glas, das konnte ich sofort feststellen. Ich brachte sie zu einem Juwelier. Ein anderer Juwelier hatte sie früher als echt, aber nicht sehr gut erklärt. Dieser Juwelier bezeichnete sie als nicht echt und es stellte sich heraus, dass sie Bergkrystalle waren. Ich habe nun untersucht, ob andere Diamantimitationen phosphoreszieren. Glas phosphoresziert in äusserst geringem Masse, und zwar verschwindend gegen die Phosphoreszenz des Diamanten. So kleine Stücke, wie beim Diamanten in Betracht kommen, zeigen keine merkliche Lichterscheinung. Ebensowenig phosphoreszieren die bunten Edelsteine, wie Saphir, Rubin, Smaragd. Das ist wichtig, weil die farblosen Varietäten dieser Edelsteine zu Diamantfälschungen verwendet werden. Ich habe hier bei einem Mineralienhändler ein grosses Exemplar von Aquamarin (farbloser Smaragd) erhalten, dasselbe zeigte keine Spur von Phosphoreszenz. Diese Strahlen geben also ein bequemes und billiges Mittel, um die Echtheit eines Diamanten feststellen zu können. Zum Schluss bemerke ich, dass die Stäbchen, welche von der Firma Dr. Richard Sthamer in Hamburg in den Handel gebracht werden, nach Herstellung des Niederschlags poliert werden. Dadurch wird der an sich leicht ablösbare Niederschlag sehr festhaftend, so dass er sich auch bei dauernder Benutzung nicht abgreift.

Diskussion.

Schweidler (Wien): Ist dem Vortragenden bekannt, dass die starke Absorbierbarkeit dieser Strahlen, die demonstriert wurde, in völliger Übereinstimmung ist mit der Absorbierbarkeit der Strahlen, die von dem Polonium der Curies ausgesandt werden.

Marckwald: Die Frage, ob mein Ausgangsmaterial identisch ist mit dem Polonium der Curies, ist ja schwer zu entscheiden. Der ganze Unterschied besteht darin, dass die Curies angeben, dass ihre Substanz die Wirksamkeit nach einiger Zeit verloren hat. Noch in ihrer letzten Veröffentlichung schreiben sie wörtlich: le polonium n'est qu'une espèce de bismut actif. Diese Substanz dagegen hat bis jetzt wenigstens, also im Laufe von 8—9 Monaten, keine Spur ihrer Aktivität eingebüsst.

Warburg (Berlin): Nach meiner Erinnerung hat das Polonium der Curies sehr stark absorbierbare Strahlen ausgesendet. Ferner haben, soviel ich weiss, die Curies keine magnetische Ablenkbarkeit an ihren Präparaten feststellen können, Herr Giesel dagegen hat eine solche gefunden. Es scheinen also verschiedene Arten von Polonium zu existieren.

W. Kaufmann (Göttingen), Die elektromagnetische Masse des Elektrons.

Auf der vorjährigen Naturforscherversammlung in Hamburg[1]) konnte ich Ihnen über Versuche berichten, aus denen hervorging, dass das Verhältnis ε/μ der Becquerelstrahlen mit zunehmender Geschwindigkeit abnähme, also wenn man ε als konstant betrachtet, μ zunähme und zwar um so rascher, je mehr sich die Geschwindigkeit (q) der Lichtgeschwindigkeit (c) nähert. Ein derartiges Verhalten ergiebt sich theoretisch aus der Gleichung für die Energie einer schnell bewegten elektrischen Ladung. Es glückte damals auch, die Resultate mit einer von Herrn Searle[2]) abgeleiteten theoretischen Formel in Einklang zu bringen; jedoch nur unter der Annahme, dass der grösste Teil der Masse des bewegten Elektrons mechanischen, der Rest elektromagnetischen Ursprungs sei. Bald nach Veröffentlichung der damaligen Versuche zeigte jedoch Herr M. Abraham[3]), dass die Searlesche Formel für die Feldenergie des bewegten Elektrons die elektromagnetische Masse nur im Falle einer Beschleunigung in Richtung der Bewegung ohne weiteres zu berechnen gestatte, dass dagegen bei transversaler Beschleunigung, wie sie bei meinen Versuchen vorlag, ein von der Searleschen Formel abweichender Ausdruck für die Masse gilt. Ist $\beta = q/c$, ε die Ladung des Elektrons in E. M. E. μ_0[1]) der Wert der elektromagnetischen Masse für kleine Geschwindigkeiten, so ist nach Abraham:

$$1)\qquad \frac{\varepsilon}{\mu} = \frac{\varepsilon}{\mu_0}\,\frac{4}{3}\,\frac{1}{\psi(\beta)}$$

wobei

$$2)\qquad \psi(\beta) = \frac{1}{\beta^2}\left[\frac{1+\beta^2}{2\beta}\,ln\left(\frac{1+\beta}{1-\beta}\right) - 1\right],$$

(für $\beta = 0$ wird $\psi(\beta) = 4/3$; für $\beta = 1$ wird $\psi(\beta) = \infty$).

Eine bereits von Herrn Abraham versuchte Vergleichung meiner Versuchsresultate mit seiner Formel ergab keine gute Übereinstimmung, die Masse änderte sich schneller als die Theorie verlangte, sodass eine etwa hinzugefügte mechanische Masse hätte negativ angesetzt werden müssen.

Im folgenden soll nun ein rationellerer Wert zur Auswertung der Resultate gezeigt und zugleich an der Hand neuen Versuchsmaterials die völlige Übereinstimmung zwischen Beobachtung und Theorie nachgewiesen werden.

Bei den damaligen Berechnungen wurden nämlich die absoluten Werte von q und ε/μ unter Benutzung der absoluten Werte des elektrischen und magnetischen Feldes bestimmt, wobei schon damals die möglichen Fehler zu etwa 5 Proz. geschätzt wurden, Fehler, die viel grösser sind, als die relativen Fehler bei Ausmessung der Platten.

Wegen der grossen Veränderlichkeit von $\psi(\beta)$ für β nahezu gleich 1 bedeutet aber ein kleiner Fehler von β einen sehr grossen von μ (für $\beta = 0{,}96$ resp. $0{,}98$ ist z. B. $\psi(\beta) = 3{,}141$ resp. $3{,}745$, d. h. einem Fehler in der Bestimmung von β von 2 Proz. entspricht ein Fehler von μ im Betrage von 19 Proz.).

Zu einer rationellen Verwertung der auf der Platte ausgemessenen Kurve gelangt man also nur, indem man die Relativwerte miteinander vergleicht; man darf die Konstanten der Kurve nicht direkt durch Messung der Apparatdimensionen und des Feldes bestimmen, sondern muss nach der Methode der kleinsten Quadrate die wahrscheinlichsten Werte ermitteln.

Es seien y resp. z, die auf der Platte gemessenen elektrischen resp. magnetischen Ablenkungen. Aus diesen lassen sich zwei andere Grössen η resp. ζ ableiten, die in einfacher Beziehung zu ε/μ resp. q stehen. Die η und ζ sind den y und z angenähert proportional; die Abweichungen von der Proportionalität lassen

1) Verhdl. D. Naturf. u. Ärzte Hamburg 1901. II. 1. 45. Gött. Nachr. 1901. H. 2.

2) Phil. Mag (5) **44**, 340, 1897.

3) Gött. Nachr. 1902. H. 1.

1) Ist a der Radius des Elektrons, so ist $\mu_0 = \frac{2\,\varepsilon^2}{3\,a}$ bei Annahme von Flächenladung.

Tabelle I.

z cm	y cm	β	$\psi(\beta)$	k_2	δ Proz.
0,348	0,0839	0,957	3,08	2,16	−0,6
0,461	0,1175	0,907	2,49	2,165	−0,4
0,576	0,1565	0,847	2,13	2,20	+1,2
0,688	0,198	0,799	1,96	2,165	−0,4
			Mittel:	2,173	

$k_1 = 0{,}532$

$\varepsilon = \pm\sqrt{\frac{\Sigma\delta^2}{3}} = \pm 0{,}8$ Proz.

Tabelle II.

z cm	y cm	β	$\psi(\beta)$	k_2	δ Proz.
0,200	0,0241	0,930	2,69	[2,19][1]	[+17,5]
0,250	305	0,917	2,56	1,87	+ 0,4
0,300	382	0,875	2,26	1,855	− 0,4
0,350	469	0,831	2,065	1,845	− 1,0
0,400	574	0,777	1,89	1,895	+ 1,7
0,450	688	0,730	1,78	1,864	+ 0,05
0,525	856	0,684	1,695	1,850	− 0,7
			Mittel:	1,863	

$k_1 = 0{,}260$

$\varepsilon = \pm 1{,}0$ Proz.

1) Zur Berechnung des Mittelwertes nicht benutzt, weil offenbar durch Plattenfehler oder andere Störungen verfälscht.

Tabelle III.

z cm	y cm	β	$\psi(\beta)$	k_2	δ Proz.
0,35	0,0455	0,851	2,147	1,721	−0,1
0,45	651	0,766	1,86	1,736	+0,7
0,50	760	0,727	1,78	1,725	+0,1
0,60	0,1000	0,6615	1,66	1,727	+0,2
0,70	0,1230	0,6075	1,595	1,655[2])	−3,9[2])
			Mittel:	1,723	

$k_1 = 0{,}258$

$\varepsilon = \pm 1{,}2$ Proz.

2) Bei Berechnung des Mittels mit $^1/_4$ Gewicht eingeführt wegen grösserer Ungenauigkeit der Einzeleinstellungen; Punkt liegt am äussersten sichtbaren Ende der Kurve.

Tabelle IV.

z cm	y cm	β	$\psi(\beta)$	k_2	δ Proz.
0,150	0,0607	0,963	3,23	8,12	+0,4
175	720	949	2,86	7,99	−1,2
200	835	933	2,73	(?) 7,46	[−7,8]
225	991	883	2,31	8,32	+2,8
250	0,1132	860	2,195	8,09	+0
275	1290	830	2,06	8,13	+0,5
300	1455	801	1,96	8,13	+0,5
325	1630	777	1,89	8,04	−0,6
350	1813	752	1,83	8,02	−0,9
375	1988	732	1,785	7,97	−1,5
			Mittel:	8,09	

$k_1 = 0{,}905$

$\varepsilon = \pm 1{,}4$ Proz.

sich durch Korrektionsglieder darstellen, die von den Apparatdimensionen abhängen, so dass selbst ziemlich beträchtliche Fehler in der Bestimmung der letzteren die Resultate wenig beeinflussen.[1])

Es bezeichne: F die Intensität des elektrischen, H die Intensität des magnetischen Feldes k_1 und k_2 zwei Konstanten; so ist:

$$4)\qquad q = c\beta = \frac{F}{H}\frac{\zeta}{\eta} = k_1 c \frac{\zeta}{\eta},$$

$$5)\qquad \beta = k_1 \frac{\zeta}{\eta},$$

$$6)\qquad \frac{\varepsilon}{\mu} = \frac{\zeta^2}{\eta}\frac{F}{H^2},$$

sodass unter Berücksichtigung von 1):

$$7)\qquad \frac{\eta}{\zeta^2 \psi(\beta)} = \frac{k_1 c}{H}\frac{3}{4}\frac{\mu_0}{\varepsilon} = k_2$$

oder

$$8)\qquad \frac{\eta}{\zeta^2 \psi\left(k_1 \frac{\zeta}{\eta}\right)} = k_2.$$

Gleichung 8) stellt also die Gleichung (η, ζ)-Kurve

1) Über Einzelheiten der Rechnung s. a. W. Kaufmann, Gött. Nachr. **1902**. H. 5. (Doch ist dort die Rechnung in etwas abweichender Weise durchgeführt.)

dar, die aus der direkt gemessenen (y, z)-Kurve durch eine einfache Umformung erhalten ist.

Es entsteht also die Aufgabe, die Konstante k_1 mittels der Methode der kleinsten Quadrate so zu bestimmen, dass der Quotient auf der linken Seite von 8) möglichst konstant wird; ist $\bar{k}_2$ der Mittelwert sämtlicher gefundenen k_2, so muss also

9) $$\Sigma\delta^2 = \Sigma(k_2 - \bar{k}_2)^2,$$

zu einem Minimum gemacht werden. Wegen der komplizierten Form von $\psi\left(k_1 \frac{\zeta}{\eta}\right)$ kann dies nur durch Ausprobieren geschehen; nach einiger Übung findet man passende Werte von k_1 sehr bald und zwar leicht auf $^1/_2$ Proz. genau.

Ich teile am Schlusse einige Messungsergebnisse mit.

Tabelle I bezieht sich auf meine alten Beobachtungen, bei denen ein leider damals untergelaufener Rechenfehler, auf den Herr E. Gehrke mich freundlichst aufmerksam machte, beseitigt ist. Tabelle II, III und IV enthalten neue Beobachtungen von bedeutend grösserer Schärfe[1]), die ich kürzlich gemacht habe, mit gütiger Unterstützung von Herrn und Frau Curie, die mir eine kleine Quantität ihres ungemein wertvollen reinen Radiumchlorids zur Verfügung stellten. Die enorme Aktivität dieses Präparates erlaubte die Anwendung sehr kleiner Körnchen als Strahlungsquelle und eines entsprechend feinen Diaphragmas, so dass die Kurven bedeutend feiner wurden als früher und sogar die blosse Spannung der Hochspannungsbatterie (circa 2000 Volt) schon ausreichte, um eine hinreichende Trennung der beiden Äste zu bewirken. Es sind die Kurven II und III mit der Spannung von 2000 Volt aufgenommen, bei Kurve IV wurde durch den l. c. beschriebenen rotierenden Umschalter die Spannung auf etwa 5000 Volt gesteigert. Die Übereinstimmung mit der Theorie ist so gut, als es die Beobachtungsgenauigkeit nur erwarten lässt, da der mittlere Fehler der Einzelwerte bei sämtlichen vier Kurven nur 1 bis 1,4 Proz. beträgt.

Kennt man den Absolutwert von H, so kann man nach Gl. 7 auch ε/μ_0 ermitteln. Ich habe bei den neuen Versuchen H noch nicht gemessen, bei den alten Versuchen (Tab. I) war $H = 299$, woraus sich ergiebt

10) $$\varepsilon/\mu_0 = 1{,}84 \cdot 10^7$$

in guter Übereinstimmung mit dem für Kathodenstrahlen gefundenen Werte

11) $$\varepsilon/\mu = 1{,}865 \cdot 10^7.$$

Berechnet man für die Versuche in Tab. I die Konstanten k_1 und k_2 aus den Apparatdimensionen, so findet man für k_1 einen um etwa

1) Hier werden die Platten gezeigt.

7,2 Proz. abweichenden Wert[1]), d. h. man erhält für die Geschwindigkeit der schnellsten Strahlen nicht die Lichtgeschwindigkeit, sondern $2{,}785 \cdot 10^{10}$.

Es ist sehr wahrscheinlich, dass bei genügender Verfeinerung der Messungen diese Differenz verschwinden wird. Versuche in dieser Richtung sind im Gange.

Zusammenfassend lässt sich jetzt schon sagen, dass die Beobachtungen zu folgenden Schlüssen berechtigen:

Die Masse der die Becquerelstrahlen bildenden Elektronen ist von der Geschwindigkeit abhängig; die Abhängigkeit ist genau darstellbar durch die Abrahamsche Formel. Es ist demnach die Masse der Elektronen rein elektromagnetischer Natur.

Der für kleine Geschwindigkeiten berechnete Wert stimmt innerhalb der Beobachtungsfehler mit dem für Kathodenstrahlen gefundenen überein.

1) W. Kaufmann, Gött. Nachr. 1902. H. 5.

(Selbstreferat des Vortragenden.)

Diskussion.

Meyer (Königsberg): Darf ich fragen, wie berechnet man die Funktion $\psi(\beta)$, theoretisch oder durch Messungen?

Kaufmann: Vielleicht ist es besser, wenn wir erst nach dem Vortrag von Abraham die Diskussion führen.

Abraham (Göttingen): Die theoretische Ableitung bringe ich ja; aber darüber können wir doch sprechen, inwieweit durch die Beobachtungen die von der Theorie verlangte Form der Funktion $\psi(\beta)$ bestätigt wird

Kaufmann: Die Vergleichung mit der Theorie erfolgt in erster Linie auf Grund der auf der Platte gemessenen Ablenkungen, indem die beiden von den Apparatdimensionen und Feldstärken abhängigen beiden Konstanten nicht durch absolute Messung, sondern empirisch nach der Methode der kleinsten Quadrate bestimmt werden.

Wenn man absolut bestimmt, kommt man zu einer Übereinstimmung viel schwerer, weil ein Fehler von 1 Proz. in der Bestimmung von β schon Fehler von 10 oder 20 Proz. für $\psi(\beta)$ giebt. Deshalb ist es nötig, dass man die relativen Werte miteinander vergleicht. Eine absolute Messung habe ich bisher nur für die ersten, älteren Versuche vom vorigen Jahre ausgeführt. Da bekommt man Abweichungen im Werte von k_1 bis zu 7 Proz. Rechnet man nun nach Korrektion dieser Abweichung daraus den Wert ε/μ_0 aus, so bekommt man den Wert $1 \cdot 84 \cdot 10^7$, während für die Kathodenstrahlen gefunden ist $1 \cdot 865 \cdot 10^7$.

Meyer: Ich möchte noch fragen wegen der Mängel der photographischen Platte, die kann man also daran erkennen, dass die Fehler immer an derselben Stelle und in derselben Grösse erfolgen?

Kaufmann: Diese Fehler sind fast immer da, systematisch, d. h. der Kurve wirklich angehörig sind sie aber nicht, da sie auf den einzelnen Platten an ganz verschiedener Stelle und verschieden nach Grösse und Sinn auftreten.

M. Abraham (Göttingen), Prinzipien der Dynamik des Elektrons.

Bereits im Januar dieses Jahres habe ich in den Nachrichten der Göttinger Gesellschaft der Wissenschaften eine Abhandlung über die Dynamik des Elektrons veröffentlicht. Die Übereinstimmung der dort entwickelten Theorie mit den experimentellen Resultaten des Herrn Kaufmann lässt die Annahmen, auf denen die Theorie beruht, als zweckmässig gewählt erscheinen; sie zeigt ferner, dass die Trägheit des Elektrons rein elektromagnetischer Natur ist. Während ich dort zunächst noch eine von der elektrischen Ladung unabhängige „materielle" Masse in den Bewegungsgleichungen mitführte, wird es jetzt notwendig, die Dynamik des Elektrons von vornherein elektromagnetisch zu begründen. Dabei ergeben sich bemerkenswerte Analogien der Prinzipien der Dynamik des Elektrons einerseits, der Prinzipien der gewöhnlichen Dynamik materieller Körper andererseits, Analogien, die für die künftige elektromagnetische Begründung der gesamten Mechanik von Bedeutung werden dürften.

Wir schreiben dem Elektron, dem Atome der negativen Elektrizität, eine Ladung e (elektrostatisch gemessen) zu. Das in den Kathoden- und Becquerelstrahlen bewegte freie Elektron sei — das nehmen wir an — eine Kugel vom Radius a, über deren Volumen die Elektrizität gleichförmig, mit der Dichte ϱ, verteilt ist. Die Elektrizität soll an den Volumelementen des Elektrons haften, wie die Materie an den Volumelementen eines starren Körpers, d. h. es soll für das Elektron die kinematische Grundgleichung gelten.

$$1)\qquad \mathfrak{v} = \mathfrak{q} + [\vartheta\, \mathfrak{r}].$$

Die kinematische Grundgleichung bestimmt die Geschwindigkeit $\mathfrak{v}$ eines beliebigen Punktes des Elektrons, dessen Abstand vom Mittelpunkt durch den Vektor $\mathfrak{r}$ angezeigt ist, wenn die Geschwindigkeit $\mathfrak{q}$ des Mittelpunktes und die Drehgeschwindigkeit ϑ um den Mittelpunkt gegeben sind; wir schreiben sie in vektorieller Form, wobei wir das Grassmannsche Symbol des äusseren Produktes gebrauchen.

Das elektromagnetische Feld, das von dem Elektron erregt wird, ist bestimmt durch die Maxwell-Lorentzschen Feldgleichungen:

$$2)\qquad \begin{aligned} \frac{1}{c}\cdot\frac{\partial \mathfrak{E}}{\partial t} &= curl\, \mathfrak{H} - \frac{4\pi\varrho}{c}\cdot \mathfrak{v}\,, \quad & div\, \mathfrak{E} &= 4\pi\varrho, \\ -\frac{1}{c}\,\frac{\partial \mathfrak{H}}{\partial t} &= curl\, \mathfrak{E}\,, & div\, \mathfrak{H} &= 0. \end{aligned}$$

$\mathfrak{E}$, $\mathfrak{H}$ bezeichnen dabei elektrische und magnetische Feldstärke, c die Lichtgeschwindigkeit.

Es ist hervorzuheben, dass die Lorentzsche Theorie mit absoluten Geschwindigkeiten rechnet.

Das Elektron befinde sich nun in einem gegebenen äusseren elektromagnetischen Felde, von den Feldstärken $\mathfrak{E}$, $\mathfrak{H}_h$. Zur Bestimmung der Bewegungen, die es ausführt, ist noch ein drittes System von Grundgleichungen erforderlich, das System der „kinetischen" oder „dynamischen" Grundgleichungen. Bei der Aufstellung derselben lassen wir uns durch folgende Überlegung leiten. H. A. Lorentz und E. Wiechert haben gezeigt, dass man die Kräfte, welche auf ruhende und auf strömende Elektrizität im elektrischen bezw. im magnetischen Felde wirken, aus der Elektronentheorie ableiten kann, wenn man für die auf das einzelne Elektron wirkende Kraft den Ansatz macht:

$$\mathfrak{K} = e\cdot \mathfrak{F}_h \quad , \quad \mathfrak{F}_h = \mathfrak{E}_h + \frac{1}{c}[\mathfrak{q}\mathfrak{H}_h].$$

Dabei wird das Elektron als Punktladung aufgefasst. Wir müssen die Volumelemente des Elektrons unterscheiden; demgemäss definieren wir die „äussere Kraft" durch

$$\mathfrak{K} = \int\!\!\int\!\!\int dv\,\varrho\cdot\mathfrak{F}_h\,, \quad \mathfrak{F}_h = \mathfrak{E}_h + \frac{1}{c}\cdot[\mathfrak{v}\,\mathfrak{H}_h]$$

und führen ferner eine „äussere Drehkraft"

$$\Theta = \int\!\!\int\!\!\int dv\,\varrho\,[\mathfrak{r}\,\mathfrak{F}_h]$$

ein. Nach Maxwell und Hertz gilt nun aber das „Prinzip der Einheit der elektrischen und magnetischen Kraft"; diesem Prinzip zufolge ist die Unterscheidung eines „äusseren" und eines vom Elektron selbst erregten „inneren" Feldes eine künstliche; in Wahrheit giebt es nur ein Feld, von den Feldstärken

$$\mathfrak{E}_h + \mathfrak{E}\,,\ \mathfrak{H}_h + \mathfrak{H}.$$

Dieses Prinzip führt uns dazu, dem Vektor

$$\mathfrak{F}_h = \mathfrak{E}_h + \frac{1}{c}[\mathfrak{v}\,\mathfrak{H}_h]$$

den Vektor

$$\mathfrak{F} = \mathfrak{E} + \frac{1}{c}[\mathfrak{v}\,\mathfrak{H}]$$

an die Seite zu stellen, und von einer „inneren Kraft"

$$\int\!\!\int\!\!\int dv\,\varrho\,\mathfrak{F}$$

und einer „inneren Drehkraft"

$$\int\int\int d\,v\,\varrho\,[\mathfrak{r}\,\mathfrak{F}],$$

zu reden. Die „dynamischen Grundgleichungen" besagen nun:

Die Resultierenden der inneren nnd äusseren Kraft und Drehkraft verschwinden:

$$3)\quad \begin{aligned} \int\int\int d\,v\,\varrho\,\mathfrak{F} + \mathfrak{K} = 0, \\ \int\int\int d\,v\,\varrho\,[\mathfrak{r}\,\mathfrak{F}] + \Theta = 0. \end{aligned}$$

Die kinematische Grundgleichung (1), die Feldgleichungen (2) und die dynamischen Grundgleichungen (3), das sind die Grundlagen, auf denen die Dynamik des Elektrons sich aufbaut. Es mag betont werden, dass das Wort „Kraft" hier nur eine abkürzende Bezeichnung für gewisse, durch die Feldstärken und durch die Geschwindigkeit der Translation und Rotation des Elektrons definierte Vektoren ist; aus der gewöhnlichen Mechanik nehmen wir nur rein geometrisch-kinematische Begriffe in die Grundlagen der Dynamik des Elektrons auf. Doch wählen wir die Bezeichnung der abgeleiteten Grössen so, dass die Analogie zur gewöhnlichen Mechanik deutlich hervortritt.

Bevor wir zur Behandlung spezieller Bewegungstypen übergehen, mögen zwei allgemeine Sätze vorausgeschickt werden, die aus den Feldgleichungen folgen. Der erste Satz formuliert das Energieprinzip, er lautet:

$$4)\quad \int\int dv\,\varrho\,(\mathfrak{v}\,\mathfrak{F}) + \int\int do\,\mathfrak{S}_\nu = -\frac{d\,W}{d\,t}.$$

Dabei bedeuten: o die Begrenzung des Feldes, die durch fremde Körper oder auch durch eine nur gedachte Fläche bestimmt sein kann; $(\mathfrak{v}\,\mathfrak{F})$ das innere (skalare) Produkt der Vektoren $\mathfrak{v}$ und $\mathfrak{F}$, mithin das erste Glied der linken Seite die „Leistung der inneren Kräfte". Das zweite Glied enthält die Normalkomponente des „Poyntingschen Strahlvektors"

$$\mathfrak{S} = \frac{c}{4\pi}\cdot[\mathfrak{E}\,\mathfrak{H}]$$

und ergiebt die vom Elektron durch die Begrenzung hindurchgesandte Strahlung. Leistung der inneren Kräfte und Ausstrahlung erfolgen auf Kosten einer skalaren Grösse W, die wir „elektromagnetische Energie" nennen, und die das Feld mit der Dichte

$$\frac{1}{8\pi}(\mathfrak{E}^2 + \mathfrak{H}^2)$$

erfüllt. Gl. (4) entspricht also dem Satze von der lebendigen Kraft. In entsprechender Weise lassen sich — das hat H. Poincaré zuerst bemerkt — die Sätze von der Bewegungsgrösse, oder die „Impulssätze" aus der Lorentzschen Theorie gewinnen. Es ist:

$$5)\quad \begin{aligned} \int\int\int dv\,\varrho\,\mathfrak{F} + \int\int do\,\mathfrak{P} = \\ -\int\int\int dv\,\frac{1}{c^2}\,\frac{\partial\mathfrak{S}}{\partial t}, \\ \int\int\int dv\,\varrho\,[\mathfrak{r}\,\mathfrak{F}] + \int\int do\,[\mathfrak{r}\,\mathfrak{P}] = \\ -\int\int dv\left[\mathfrak{r},\,\frac{1}{c^2}\,\frac{\partial\mathfrak{S}}{\partial t}\right]. \end{aligned}$$

Hier giebt $\mathfrak{P}$ die Kraft an, die von den sogenannten „Maxwellschen Spannungen" des vom Elektron erregten Feldes auf die Flächeneinheit der Grenzfläche o ausgeübt wird, $[\mathfrak{r}\,\mathfrak{P}]$ das statische Moment dieser Kraft, bezogen auf den Mittelpunkt des Elektrons. Nach den Gleichungen (5) heben sich im allgemeinen die Kräfte, welche vom Felde auf das Elektron einerseits und auf die Begrenzung andererseits ausgeübt werden, durchaus nicht auf; sie widersprechen also dem dritten Axiome Newtons. Ganz ebenso würde die Gl. (4) dem Energieprinzip widersprechen, wenn wir es nicht durch Annahme einer neuen „elektromagnetischen Energie" aufrecht erhalten hätten. Auch das dritte Axiom können wir retten, wenn wir eine neue „elektromagnetische Bewegungsgrösse" einführen, die über das Feld mit der Dichte $\frac{1}{c^2}\cdot\mathfrak{S}$ verteilt ist. Die Gl. (5) sind dann folgendermassen zu deuten.

Wir denken uns ein mit dem Elektron starr verbundenes Gerüst. In allen Punkten des Feldes, an denen gerade die Dichte der elektromagnetischen Bewegungsgrösse mit der Zeit zunimmt, greift eine entsprechende Kraft an dem Gerüste an. Alle diese Einzelkräfte nach den Regeln der Statik starrer Körper zusammensetzend, erhält man die Kraft und Drehkraft, welche das von der Fläche o begrenzte Feld auf das Gerüst ausübt. Die Betrachtung vereinfacht sich, wenn es erlaubt ist, die Fläche o in das Unendliche zu rücken, und die Oberflächenintegrale in den Gl. (5) und (4) fortzulassen; das ist dann der Fall — der Nachweis würde hier zu weit führen —, wenn der Einfluss fremder Körper auf das Elektron, soweit er nicht in dem Vektor $\mathfrak{F}_h$ berücksichtigt ist, unmerklich wird. Nehmen wir weiterhin diese Bedingung als erfüllt an, so können wir vermöge der Gl. (5) die „inneren Kräfte" vollständig durch die dynamischen Einwirkungen der elektromagnetischen Bewegungsgrösse ersetzen.

Wir nennen das über den unendlichen Raum erstreckte Integral:

$$\mathfrak{G} = \frac{1}{c^2}\int\int\int d\,v\,\mathfrak{S}$$

den „Impuls" des Elektrons, ferner

$$\mathfrak{M} = \frac{1}{c^2}\iiint dv\,[\mathfrak{r}\mathfrak{S}]$$

den „Drehimpuls", bezogen auf den Mittelpunkt des Elektrons, ganz ebenso wie wir die Integrale über das ganze unendliche Feld

$$W_e = \iiint \frac{dv}{8\pi}\,\mathfrak{E}^2, \qquad W_m = \iiint \frac{dv}{8\pi}\,\mathfrak{H}^2$$

als elektrische und magnetische Energie des Elektrons zu bezeichnen gewohnt sind.

Führen wir die Relationen (5) jetzt in die dynamischen Grundgleichungen (3) ein, so erhalten wir sofort die „Bewegungsgleichungen" des Elektrons.

$$6) \qquad \frac{d\mathfrak{G}}{dt} = \mathfrak{K}, \qquad \frac{d\mathfrak{M}}{dt} + [\mathfrak{q}\mathfrak{G}] = \Theta.$$

Eine äussere Kraft bedingt eine zeitliche Änderung des Impulses. Eine äussere Drehkraft ist nicht nur zur Abänderung des Drehimpulses erforderlich; nein, eine äussere Drehkraft muss auch dann angreifen, wenn das Elektron mit konstantem Drehimpuls und einem zur Translationsrichtung schiefem Impulse behaftet ist. In der That, in diesem Falle nimmt, bezogen auf einen im Raume festen Punkt, das statische Moment des Impulses zu oder ab, und hierzu eben ist die Einwirkung einer äusseren Drehkraft notwendig. Übrigens entsprechen die Bewegungsgleichungen (6) ganz denjenigen, die man für die Bewegung eines starren Körpers in einer idealen Flüssigkeit aufgestellt hat. Dort aber sind Impuls und Drehimpuls lineare Funktionen der jeweiligen Geschwindigkeit bezw. Drehgeschwindigkeit. Hier hingegen hängen Impuls und Drehimpuls, die durch Integrale über das ganze Feld definiert sind, im allgemeinen von der Vorgeschichte des Elektrons ab, d. h. von der Geschwindigkeit, die es von Anbeginn an bis zum gegenwärtigen Zeitpunkt besessen hat. Hierdurch ist eine weit grössere Komplikation des elektrodynamischen Problems bedingt, die eine allgemeine Lösung desselben als aussichtslos erscheinen lässt. Man muss sich darauf beschränken, aus der grossen Mannigfaltigkeit der Bewegungen und Felder gewisse, der mathematischen Behandlung zugängliche Klassen herauszugreifen; glücklicherweise scheinen gerade die mathematisch einfachsten Bewegungen der Elektronen von den bei Kathoden- und Becquerelstrahlen wirklich stattfindenden nicht merklich verschieden zu sein.

Wer in den Kathoden- und Becquerelstrahlen Schwärme bewegter Elektronen sieht, muss für deren Bewegungen das erste Newtonsche Axiom als gültig ansehen. Solange nämlich keine äussere Kraft einwirkt, erfolgt die Bewegung geradlinig und mit konstanter Geschwindigkeit. Auch das zweite Axiom Newtons hat man experimentell bestätigt gefunden in dem Sinne, dass bei Steigerung der ablenkenden oder beschleunigenden äusseren Kraft der Betrag der transversalen oder longitudinalen Beschleunigung in demselben Verhältnis ansteigt, wie die Kraft; man durfte daher dem Elektron eine träge Masse zuschreiben, eine Masse, die nach Kaufmann mit wachsender Geschwindigkeit zunimmt. Um ein solches Verhalten aus der elektromagnetischen Theorie zu deduzieren, müssen wir zunächst Bewegungen des Elektrons aufsuchen, bei denen die Translationsgeschwindigkeit $\mathfrak{q}$ konstant bleibt ohne Einwirkung einer äusseren Kraft oder Drehkraft. Von solchen, dem ersten Axiome genügenden Bewegungen haben wir auszugehen; wir haben sie durch äussere Kräfte abzuändern, um zu dem zweiten Axiome und zu dem Begriffe der elektromagnetischen Masse zu gelangen.

Jede reine translatorische Bewegung unseres kugelförmigen Elektrons genügt dem ersten Newtonschen Axiome. Denn es ergiebt sich aus den Feldgleichungen, dass das Elektron, wenn die Geschwindigkeit $\mathfrak{q}$ konstant ist, sein Feld einfach mitführt, dass ferner der Drehimpuls $\mathfrak{M}$ null ist, und der Impuls der Bewegungsrichtung parallel weist. Die Bewegungsgleichungen (6) sind daher ohne Annahme äusserer Kräfte erfüllt. Wir denken uns nun die Bewegung durch eine äussere Kraft $\mathfrak{K}$ abgeändert, etwa durch ein homogenes elektrisches oder magnetisches Feld. Drehkräfte und Rotationen schliessen wir aus; wir genügen den Bewegungsgleichungen, wenn wir den Impulsvektor $\mathfrak{G}$ der Kraft $\mathfrak{K}$ entsprechend abändern, und die Bewegung des Elektrons der jeweiligen Richtung des Impulsvektors parallel erfolgen lassen. Setzen wir voraus, dass der Betrag G des Impulses nur von dem Betrage q der Geschwindigkeit abhänge, so ergiebt sich, dass, bei longitudinaler Beschleunigung, die Masse

$$7) \qquad \mu_s = \frac{dG}{dq},$$

bei transversaler hingegen die Masse

$$7) \qquad \mu_r = \frac{G}{q}$$

in Rechnung zu setzen ist. Diese Eormeln, für longitudinale und transversale elektromagnetische Masse, habe ich bereits in meiner früheren Mitteilung hergeleitet. Bei langsamer Bewegung, d. h. wenn $\beta^2 = \frac{q^2}{c^2}$ zu vernachlässigen ist, ist $\mathfrak{E}$ von der Geschwindigkeit unabhängig, $\mathfrak{H}$ dieser proportional. Mithin ist die Dichte der elektromagnetischen Bewegungs-

grösse, sowie der Impuls G der Geschwindigkeit q proportional. Daher wird hier die longitudinale Masse der transversalen gleich, ein Resultat, das bei langsamen Kathodenstrahlen experimentell festgestellt ist, aber erst durch die Formeln (7) im Sinne der elektromagnetischen Theorie verständlich wird.

Bei grösseren Geschwindigkeiten hingegen, wo G nicht mehr q proportional ist, hängen beide Massen in verschiedener Weise von der Geschwindigkeit ab.

Die Theorie ergiebt, bei langsamer Bewegung:

$$\mu_s = \mu_r = \mu_0 = \frac{4}{5} \frac{e^2}{a c^2},$$

das Experiment

$$\frac{|e|}{c \mu_0} = 1{,}865 \cdot 10^7.$$

Wir erhalten demnach

$$a = \frac{4}{5} \cdot \frac{|e|}{c} \cdot 1{,}865 \cdot 10^7.$$

Setzen wir für e die Ladung eines einwertigen Ions, so erhalten wir für den Radius des Elektrons $a = 10^{-13}$ cm, ein Resultat, das mit Rücksicht auf die Unsicherheit in der Bestimmung von e nur als Angabe der Grössenordnung anzusehen ist.

Über den Gültigkeitsbereich der Formeln (7) sind noch einige Worte zu sagen. Dass das Elektron in einer beliebigen Richtung kräftefrei und stationär sich bewegen kann, ist durch die Symmetrie bedingt, die wir ihm zuschrieben. Wäre das Elektron etwa ein gleichförmig mit Elektrizität geladenes Ellipsoid, so wäre kräftefreie stationäre Bewegung nur parallel einer der 3 Hauptachsen denkbar, da nur hier der Impulsvektor der Bewegungsrichtung parallel weist; und auch von diesen drei Richtungen ist nur die der grossen Achse parallele stabil, in dem Sinne, dass bei einer Abänderung der Translationsrichtung stets eine innere Drehkraft einsetzt, welche die grosse Achse in die neue Translationsrichtung einzustellen strebt. Hier sind, wenigstens bei schwach gekrümmten Bahnen, die Formeln (7) anwendbar. Bei Bewegungen mit einem, zur Bewegungsrichtung schiefen Impuls hingegen ist es prinzipiell unzulässig, von elektromagnetischer Masse zu reden; denn hier wird bereits das erste Axiom ungültig.

Was die Voraussetzung anbelangt, dass der Betrag des Impulses nur von der jeweiligen Geschwindigkeit abhängen soll, so ist dieselbe nur für solche Bewegungen erfüllt, die ich „quasistationäre Bewegungen" genannt habe. Das sind solche Bewegungen, bei denen die Geschwindigkeit keine allzu plötzlichen Änderungen erfährt. Die elektromagnetische Masse entspricht ja durchaus der Selbstinduktion in der Theorie der elektrischen Schwingungen; man berechnet die Selbstinduktion aus dem magnetischen Felde des Stromes, als ob der Strom stationär wäre; das ist erlaubt, solange die Stromschwankungen hinreichend allmählich erfolgen, solange der Strom „quasistationär" ist. Bei sehr rapiden Schwankungen der Stromintensität, bei Hertzschen Schwingungen z. B., kommt man nicht mehr mit der so berechneten Selbstinduktion aus. Ganz ähnlich liegen die Verhältnisse hier; bei sehr rapiden Beschleunigungen des Elektrons wird es unzulässig, mit der elektromagnetischen Masse zu rechnen, insbesondere dann, wenn die Lichtgeschwindigkeit erreicht oder gar überschritten wird. Doch darf man die Theorie der quasistationären Bewegung noch anwenden, wenn die Geschwindigkeit nur um wenige Kilometer pro Sekunde hinter der Lichtgeschwindigkeit zurückbleibt, und wenn die Beschleunigung die in den stärksten Feldern erreichbaren Wert annimmt.

Wir rekapitulieren: Energiesatz und Impulssätze liessen sich allgemein aus den Grundgleichungen der Dynamik des Elektrons deduzieren. Um das zweite Axiom Newtons herzuleiten, beschränkten wir uns auf quasistationäre Translationsbewegung. Dabei erfuhr der Massenbegriff eine Erweiterung; die elektromagnetische Masse ist kein Skalar, sondern ein Tensor, von der Symmetrie eines Rotationsellipsoides; beide Massen, longitudinale und transversale, sind Funktionen der Geschwindigkeit. Nun leitet man bekanntlich in der analytischen Mechanik, von den Newtonschen Axiomen ausgehend, andere Formulierungen der dynamischen Prinzipien ab, die Lagrangeschen Gleichungen, das Hamiltonsche Prinzip, welche die Dynamik eines Systems abhängig machen von einer einzigen Funktion, der Differenz der kinetischen und potentiellen Energie (der Lagrangeschen Funktion). Doch liegt dieser Ableitung die Voraussetzung zu Grunde, dass die potentielle Energie von der Geschwindigkeit unabhängig, die kinetische Energie eine homogene Funktion zweiten Grades der Geschwindigkeitskomponenten ist. Es liegt nahe, der kinetischen Energie die magnetische, der potentiellen die elektrische entsprechen zu lassen, und die Lagrangesche Funktion $L = W_m - W_e$ zu setzen. Bei langsamer Bewegung ist in der That W_e von q unabhängig, W_m dem Quadrat von q proportional. Bei grösseren Geschwindigkeiten aber gilt das nicht mehr; hier wird die in der analytischen Mechanik gegebene Herleitung der Lagrangeschen Gleichungen hinfällig. Wollen wir die Lagrangeschen Gleichungen und das

Hamiltonsche Prinzip prüfen, so müssen wir auf die Grundgleichungen der Dynamik des Elektrons zurückgehen.

Das soll jetzt geschehen; dabei sollen die Annahmen über die Bewegung etwas allgemeiner gehalten sein; wir beschränken uns nicht auf translatorische Bewegungen, sondern ziehen auch Rotationen in Betracht. Wir führen ein Koordinatensystem ein, das in dem bereits oben erwähnten, mit dem Elektron starr verbundenen Gerüst befestigt ist. Wir schreiben

$$\frac{\partial' \mathfrak{E}}{\partial t}, \frac{\partial' \mathfrak{H}}{\partial t}$$

die zeitlichen Änderungen der Feldstärken, beurteilt von diesem Gerüst aus, und bezogen auf das im Gerüste feste Achsenkreuz. Die beiden ersten Feldgleichungen nehmen dann die einfache Form an:

$$8) \quad \begin{aligned} \frac{1}{c}\frac{\partial' \mathfrak{E}}{\partial t} &= \operatorname{curl} \mathfrak{H}', \quad \mathfrak{H}' = \mathfrak{H} - \frac{1}{c}[\mathfrak{v}\,\mathfrak{E}], \\ -\frac{1}{c}\frac{\partial' \mathfrak{H}}{\partial t} &= \operatorname{curl} \mathfrak{F}, \quad \mathfrak{F} = \mathfrak{E} + \frac{1}{c}[\mathfrak{v}\,\mathfrak{H}]. \end{aligned}$$

Die Form der Feldgleichungen legt es nahe, eine Klasse ausgezeichneter Bewegungen herauszuheben, nämlich solche, deren Feld stationär ist in Bezug auf jenes Gerüst. Zu den „ausgezeichneten" Bewegungen gehört die reine Translation, ebenso die reine Rotation des kugelförmigen Elektrons, endlich auch Translation, verbunden mit Rotation um die Richtung der Translationsbewegung; bei Rotation um eine zur Bewegungsrichtung schiefe Achse hingegen wird der Geschwindigkeitsvektor keine feste Lage im Gerüst besitzen, mithin das Feld, bezogen auf das Gerüst, nicht stationär sein. Für die ausgezeichneten Bewegungen verschwindet $\frac{\partial' \mathfrak{H}}{\partial t}$; es ist mithin nach (8) der für die inneren Kräfte massgebende Vektor $\mathfrak{F}$ der Gradient eines Skalars φ; dieser wird „Konvektionspotential" genannt. Mit ihm hängt die „Lagrangesche Funktion" durch die Relation zusammen:

$$9) \quad L = W_m - W_e = -\iiint d\,v\,\frac{\varrho\,\varphi}{2}.$$

(In meiner früheren Mitteilung habe ich, diese Formel als Verallgemeinerung einer Formel der gewöhnlichen Potentialtheorie betrachtend,

$$U = \iiint d\,v\,\frac{\varrho\,\varphi}{2}$$

als „Kräftefunktion" des Elektrons bezeichnet.)

Für die „ausgezeichneten" Bewegungen nun lässt sich der Impuls aus der Lagrangeschen Funktion ableiten. So gelten, für reine Translation, die Gleichungen:

$$9a) \quad G = \frac{dL}{dq}$$

$$9b) \quad \frac{d\mathfrak{G}}{dt} = \mathfrak{K},$$

die man in der analytischen Mechanik als erste und zweite Zeile der Lagrangeschen Gleichungen bezeichnet. Es gilt ferner für die Energie die aus der analytischen Mechanik bekannte Beziehung:

$$9c) \quad W = -L + q \cdot \frac{dL}{dq}.$$

Diese Formeln sind implicite bereits in meiner früheren Mitteilung enthalten; man hat für die Lagrangesche Funktion des kugelförmigen Elektrons zu setzen

$$10) \quad L = -\frac{3}{5}\frac{e^2}{a} \cdot \left(\frac{1-\beta^2}{2\beta}\right) ln \left(\frac{1+\beta}{1-\beta}\right), \ \beta = \frac{q}{c}.$$

Aus (10), (9a) und (7) folgt insbesondere für die transversale elektromagnetische Masse die Formel:

$$10a) \quad \mu_r = \mu_0 \cdot \frac{3}{4} \cdot \psi(\beta),$$

$$\psi(\beta) = \frac{1}{\beta^2}\left\{\left(\frac{1+\beta^2}{2\beta}\right) ln \left(\frac{1+\beta}{1-\beta}\right) - 1\right\},$$

die durch Herrn Kaufmanns Versuche eine so glänzende Bestätigung erfahren hat.

(Es ist bemerkenswert, dass, wenn man homogene Flächenladung anstatt Volumladung annimmt, die Lagrangesche Funktion, ebenso wie μ_0 den Faktor $\frac{5}{6}$ erhält, die Formel (10a) aber gültig bleibt.)

Zu den „ausgezeichneten Bewegungen" gehört auch die reine Rotation. Hier wird

$$11) \quad L = C + \frac{p\vartheta^2}{2}, \text{ wo } C, p \text{ Konstanten sind.}$$

Es wird mithin der Drehimpuls

$$11a) \quad \mathfrak{M} = p \cdot \vartheta,$$

analog einer materiellen starren Kugel; für p, das „elektromagnetische Trägheitsmoment", erhält man

$$11b) \quad p = \frac{1}{7}\mu_0\,a^2,$$

während bei einer mit materieller Masse M homogen erfüllten Kugel das Trägheitsmoment $P = \frac{2}{5} \cdot M \cdot a^2$ ist. {Bei Flächenladung erhält man $p = \frac{1}{3}\mu_0\,a^2$, $P = \quad Ma^2$}.

Bei reiner Rotation tritt nichts Bemerkenswertes ein. Bei langsamer Translationsbewegung begeht man nur einen Fehler von der Ordnung β^2, wenn man $\mathfrak{G} = \mu_0\,\mathfrak{q}$, $\mathfrak{M} = p\,\vartheta$ setzt. Drehende Kräfte treten auf beim Durchgang der Kathodenstrahlen durch inhomogene Felder. Doch ist, da der Radius des Elektrons a so klein ist, die Drehkraft sehr gering; daher beträgt, nach meiner Schätzung, die Energie der in Feldern von der grössten erreichbaren Inhomo-

genität entstehenden Rotationsbewegung, nur den $10^{-23\text{ten}}$ Teil der translatorischen Energie. Bei Becquerelstrahlen ist die Berücksichtigung der Rotation weit schwieriger; hier sind translatorische und rotatorische Bewegung durch das elektromagnetische Feld gewissermassen gekoppelt. Ich habe mich darauf beschränkt, Rotation um die Translationsrichtung zu behandeln, eine Bewegung, die zu den ausgezeichneten gehört. Das allgemeine Rotationsproblem für grosse Geschwindigkeiten ist bisher nicht gelöst; ich halte eine Bearbeitung desselben für wenig lohnend, da die Schwierigkeiten sehr bedeutende sind, und da bisher nichts dazu zwingt, bei Becquerelstrahlen Rotationen als wesentlich mitspielend anzunehmen.

Zum Schlusse eilend, fasse ich die Resultate zusammen. Das Problem der Dynamik des Elektrons ist das einfachste Problem der elektromagnetischen Mechanik. Das nur translatorisch bewegte Elektron entspricht dem materiellen Punkte, das rotierende dem starren Körper der gewöhnlichen Mechanik. Auch haben wir die Annahmen über Form und Ladungsverteilung des Elektrons möglichst einfach gehalten — gerade die einfachsten Annahmen stimmen mit dem Experiment überein —, und dennoch ist die Dynamik des Elektrons weit komplizierter, als es die entsprechenden Aufgaben der gewöhnlichen Mechanik sind. Nur für eine spezielle Klasse von Bewegungen, für die „ausgezeichneten Bewegungen", die gleichzeitig quasistationär sind, liessen sich die Lagrangeschen Gleichungen in der aus der analytischen Mechanik bekannten Form deduzieren; für solche Bewegungen gilt selbstverständlich auch diejenige Formulierung der Lagrangeschen Mechanik, welche man das „Hamiltonsche Prinzip" nennt. Wird der Gültigkeitsbereich der analytischen Mechanik in gewisser Weise eingeschränkt, so erfährt er wiederum in anderer Hinsicht eine sehr wesentliche Erweiterung. Denn die gewöhnliche Mechanik materieller Körper bezieht sich auf sehr geringe Geschwindigkeiten, die Dynamik des Elektrons gilt bis nahe an die Lichtgeschwindigkeit heran. Auch hier erweist sich das Lagrangesche System der Mechanik als richtig; nur sind es kompliziertere Formen der Lagrangeschen Funktion, die in der elektromagnetischen Mechanik gelten, Formen, die bei langsamer Bewegung in die von der gewöhnlichen Mechanik als gültig angenommenen übergehen.

Diese Erweiterung des Machtbereichs der analytischen Mechanik beschränkt sich auf den gewöhnlichen, dreidimensionalen, euklidischen Raum. Allein sie berücksichtigt, und darin zeichnet sie sich vor anderen vorgeschlagenen Erweiterungen aus, diejenigen physikalischen Eigenschaften des Raumes, welche in den Maxwell-Hertzschen Differentialgleichungen ihren mathematischen Ausdruck finden. Es mag betont werden, dass unsere Theorie kontinuierliche Raumerfüllung des Äthers, d. h. exakte Gültigkeit jener Differentialgleichungen, noch annimmt für Distanzen, die klein sind gegen den Radius des Elektrons, d. h. gegen ein Billiontel eines Millimeters, und für Feldstärken, welche die unserer Messung zugänglichen billionenfach übertreffen. Die Übereinstimmung der theoretischen Resultate mit den experimentellen Ergebnissen von Herrn Kaufmann zeigt die Berechtigung dieser Annahme. Also: atomistische Struktur der Elektrizität, aber kontinuierliche Raumerfüllung des Äthers! Das sei unsere Losung.

(Selbstreferat des Vortragenden.)

Diskussion.

Planck (Berlin): Jeder, der sich mit diesen Dingen beschäftigt hat, wird darüber befriedigt sein, dass es den beiden Herren gelungen ist, diese schwierige Frage doch im letzten Grunde in einfacher Weise zu lösen. Wenn sich das alles so bestätigt, dann dürfen wir hoffen, dass sich an diese Untersuchungen ein wesentlicher Fortschritt der Elektrodynamik knüpfen wird. Von den vielen Fragen, die durch den Vortrag angeregt werden, möchte ich nur zwei an den Vortragenden richten. Die erste Frage bezieht sich auf die Bedeutung dieser Dinge für die Elektrodynamik überhaupt. Es sind diese Feststellungen nur von Bedeutung für die Lorentzsche Theorie, sie fussen durchaus auf den Lorentzschen Gleichungen. Nun ist es bekannt, dass noch andere Grundgleichungen existieren, die den Anspruch machen, den Thatsachen zu entsprechen, z. B. die Cohnschen Gleichungen. Es wäre doch interessant, zu fragen, wie die Sachen sich stellen, wenn man die Cohnschen Gleichungen den Rechnungen zu Grunde legt. Die Durchführung der Berechnungen wäre zwar wahrscheinlich sehr schwer, aber doch interessant, weil man vielleicht dadurch erfahren könnte, ob die Cohnsche Theorie überhaupt noch zulässig ist.

Die zweite Frage ist folgende: Es würde mich interessieren, zu erfahren, innerhalb welcher Grenzen noch ein quasistationärer Zustand zu Grunde gelegt werden kann. Ich möchte gerne wissen, auf welchem Wege man darüber noch etwas Näheres erfahren könnte.

Abraham: In Bezug auf die erste Frage habe ich zu bemerken: gewiss wäre es wichtig

zu untersuchen, ob die Cohnsche Theorie die Thatsachen erklärt, das wäre aber natürlich Sache des Urhebers dieser Theorie. Ich sehe den Vorzug der Lorentzschen Theorie hauptsächlich darin, dass man aus ihr eine elektromagnetische Bewegungsgrösse ableiten kann. Das vereinfacht die mathematische Betrachtung und ermöglicht die Analogie zur gewöhnlichen Mechanik. In Bezug auf die zweite Frage habe ich folgende Überlegung angestellt. Bei raschen Stromschwankungen, Hertzschen Schwingungen z. B., kommt ausgestrahlte Energie in Betracht; dann darf man nicht mehr mit quasistationärem Strome rechnen. Ähnlich liegt die Sache bei rasch beschleunigter Elektronenbewegung. Die Ausstrahlung von Energie und Impuls kann man berechnen mit Hilfe des Wiechert-Des Coudresschen Punktgesetzes in der Lorentz-Festschrift. Ich habe die Rechnung durchgeführt und daraus den Anhaltspunkt gefunden für die Bestimmung des Gültigkeitsbereichs der quasistationären Bewegung.

Meyer (Königsberg): Ich habe ein Bedenken, dass Sie vielleicht ohne weiteres zerstreuen könnten. Diese Doppelintegrale treten ja häufig auf. Sie haben da eine ideale Oberfläche, die lassen Sie dann in die Unendlichkeit rücken, und sagen dann, das Integral wird gleich Null.

Ich möchte nun fragen, ob der Beweis, dass das Integral bei dem Grenzübergang verschwindet, so ganz leicht war. Es ist darauf aufmerksam gemacht worden, dass die Physiker da bisweilen nicht genau rechnen und sich die Sache leicht machen. Neumann hat in einem Falle, wo er das beweisen wollte, eine Entwicklung nach Kugelfunktionen für notwendig gehalten. Ist nun bei Ihnen der Beweis so leicht, dass das Integral bei dem Grenzübergang verschwindet?

Abraham: Die Annahme, dass die Begrenzungsfläche des Feldes im Unendlichen liegt, wird hinfällig, wenn die Bewegung z. B. sehr nahe einer leitenden Fläche verläuft, wie etwa bei Reflexion der Kathodenstrahlen. Schliesst man solche Fälle aus, so ist es gestattet, die Aufgabe so zu behandeln, als ob das Elektron sich allein im Raume befinde. Der Nachweis, dass dann die betreffenden Oberflächenintegrale verschwinden, ist nicht sehr schwer, wenn man nur ein gewisses physikalisches Verständnis diesen Dingen entgegenbringt.

J. Puluj (Prag). Über den Schutz der Telephonstationen gegen die Gefahren der hochgespannten Starkströme und über Mitbenützung von Starkstromleitungen für telephonische Zwecke.[1])

Fernleitungsanlagen für elektrische Beleuchtung und Kraftübertragung, bei welchen Betriebsspannungen bis 20000 Volt und darüber zur Anwendung gelangen, werden in der Regel behufs Verständigung zwischen Centrale und den Unterstationen mit Telephonapparaten versehen, deren Leitungen an demselben Gestänge unterhalb der Starkstromleitungen geführt werden. Bei einer solchen Anordung der Leitungsdrähte ist die Möglichkeit vorhanden, dass infolge von Zufällen hochgespannte Starkströme aus den Fernleitungen in die Telephonleitungen eindringen und hier sowohl für Menschenleben als auch für Apparate gefährlich sein können.

Durch entsprechend ausgeführte Abschmelzsicherungen können Telephonapparate vor dem Verbrennen zwar geschützt werden; zu diesem Zwecke braucht man nur die Abschmelzdrähte, etwa Platindrähte, entsprechend dünn und lang zu wählen. Solche Einrichtungen gewähren jedoch keinen sicheren Schutz auch für das Leben des beim Telephon Beschäftigten, weil der hochgespannte Strom — Gleich- oder Wechselstrom — einen wenn auch noch so kurzen Augenblick durch den Schutzdraht fliessen muss, wenn der letztere abschmelzen und die Telephonleitung unterbrechen soll. Dieser kurze Augenblick kann aber bei entsprechend hoher Betriebsspannung genügen, um das Leben des Telephonierenden zu gefährden, wenn derselbe mit einem stromleitenden Teile der Telephonstation in Berührung steht und der eingedrungene elektrische Strom eine genügende Stärke erreicht. Um daher auch die Person gegen Gefahren der hochgespannten Starkströme zu schützen, müssen ausser den Abschmelzsicherungen noch andere Sicherheitseinrichtungen vorgesehen werden.

Als der Vortragende vor ca. 5 Jahren bei kommissionellen Verhandlungen anlässlich der Projektierung eines grossen Elektrizitätswerkes bei Hohenfurth in Böhmen als behördlicher Sachverständiger intervenierte, wurde er veranlasst, mit dieser Frage des Schutzes der Telephonanlagen sich eingehend zu befassen, und es gelang ihm auch, eine Schaltungsanordnung zu erfinden, welche dem gewünschten Zwecke entspricht und die Person wie die Apparate gegen die Gefahren von Starkströmen vollkommen sicher schützt.

(Diese in Deutschland und Österreich-Ungarn patentierte Schaltungsanordnung wurde vom Vortragenden an der Hand von photo-

1) Abteilung 3, am 23. Septr. 1902.

graphierten Zeichnungen, die mittels Diapositiven und Bogenlicht auf einen Schirm projiziert wurden, erläutert.)

Bei Telephonstationen gewöhnlicher Konstruktion wird eine Induktionsspule mit zwei Wicklungen verwendet, wobei die primäre in den Mikrophonkreis und die sekundäre in den Telephonkreis eingeschaltet wird. Bei den Apparaten des Vortragenden hat dagegen die Induktionsspule drei Wicklungen. Die primäre und sekundäre Wicklung sind übereinander gelagert und bilden eine hohle Induktionsspule. Im Innern dieser Spule befindet sich eine zweite, mit einem Kern aus Eisendrähten versehene Spule, welche die tertiäre Wicklung trägt, von der hohlen Spule räumlich getrennt und von ihr durch Luft oder ein anderes entsprechendes Mittel isoliert ist.

Die Schaltungsanordnung ist also durch Verwendung von drei Stromkreisen gekennzeichnet, und zwar befinden sich in dem ersten geschlossenen Stromkreise das Mikrophon, die Primärwicklung der hohlen Induktionsspule, eine Batterie und der selbstthätige Ausschalter, im zweiten, ebenfalls geschlossenen, Stromkreise die Sekundärwicklung der Induktionsspule und das Telephon, während der dritte Stromkreis von den tertiären Wicklungen der inneren Spulen der beiden Stationen und der Linienleitung (Hin- und Rückleitung, letztere metallisch oder Erde) gebildet wird. Zwei Telephonstationen bestehen somit aus fünf in sich geschlossenen und elektromagnetisch miteinander verbundenen Stromkreisen. Durch eine solche Anordnung der Stromkreise wird bei etwaiger Berührung einer Hochspannungsleitung mit der Telephonleitung das Auftreten der gefährlichen Ströme in Mikrophon- und Telephonkreisen verhindert, weil, wie leicht einzusehen ist, Starkströme aus der Tertiärwicklung in die räumlich getrennte hohle Induktionsspule absolut nicht eindringen können.

Nach diesen Ausführungen erläuterte der Vortragende an Hand von projizierten Zeichnungen die Einzelheiten einer kompletten Telephonstation, und dann folgten Versuche mit zwei solchen Stationen, von denen die eine im Vortragssaale und die zweite in einem entlegenen Zimmer installiert und die mittels einer Doppelleitung miteinander verbunden waren.

Überraschend ist ein Versuch mit der dreifach gewickelten Induktionsspule, deren tertiäre Wicklung zu diesem Zwecke mit der Linienleitung verbunden wurde. Die primäre Wicklung der Induktionsspule war offen, während die sekundäre Wicklung derselben mit einem Hörtelephon von Deckert und Homolka in Verbindung stand. Das Telephon reproduzierte eine von der entlegenen Station übertragene Melodie so kräftig, dass dieselbe im ganzen Vortragssaale gehört wurde. Die Töne wurden schwächer oder stärker, je nachdem die innere Spule aus der hohlen Induktionsspule immer mehr entfernt oder genähert wurde; dabei fiel es auf, dass Trompetentöne selbst bei gegenseitigem Abstande der beiden Spulen von mehreren Centimetern am Telephon auch dann noch zu hören waren, als die Primärwicklung der Induktionsspule kurz geschlossen wurde.

Hierauf folgten Versuche, mit welchen bewiesen werden sollte, dass so eingerichtete Telephonstationen einen vollkommen verlässlichen Schutz gegen hochgespannte Ströme bieten. Für diese Versuche diente ein transformierter Wechselstrom von ca. 700 Volt. Nach hergestellter Verbindung zwischen einem Leitungsdrahte und einer Klemme des Versuchstransformators war im Telephon zwar ein schwaches Summen vernehmbar, jedoch der telephonische Verkehr zwischen beiden Stationen nicht gestört. Als hierauf auch die zweite Klemme des Transformators mit dem zweiten Leitungsdrahte verbunden wurde, schmolz der Sicherungsdraht ab, ohne dass der Vortragende, der während dieser Zeit die Telephone in den Händen hielt, auch nur die schwächste Wirkung der Starkströme gespürt hätte. Aber auch die Apparate blieben unbeschädigt, wie nach Abschaltung des Transformators durch telephonische Übertragung der in der entlegenen Station abgegebenen Trompetentöne erwiesen wurde, welche wieder im ganzen Vortragssaale sehr gut zu hören waren.

Telephonstationen dieser Konstruktion wurden vor ca. zwei Jahren in einigen von der Elektrizitäts-Aktiengesellschaft vorm. Kolben & Co. ausgeführten Hochspannungsanlagen eingeführt und haben sich bis jetzt bestens bewährt, so in der Drehstromanlage mit 2000 Volt Betriebsspannung der Kohlenbergbaugesellschaft in Brüx, und zwar in den Schächten Humboldt II, Guido, Radetzky und in den drei Luftschächten, ferner neun Stationen bei einer Gleichstrom-Kraftübertragungsanlage mit 400 Volt im Jupiterschachte der Buschtehrahder Eisenbahnstation Kladno.

Zum Schluss erklärte der Vortragende, wie solche Telephonstationen in Verbindung mit Kondensatoren eine direkte Mitbenützung von unter Strom befindlichen Hochspannungsleitungen für telephonische Übertragung, und zwar ohne Gefahr für Menschen und Apparate, ermöglichen. Zu diesem Zwecke wird die mit einem Kondensator in Reihe geschaltete innere Spule mit tertiärer Wicklung in jeder Station einerseits mit der Hochspannungsleitung, andererseits mit der Erde verbunden.

Mit Vorteil können die Stationen besonders an solche Punkte der Stromkreise angeschlossen werden, an denen während des Betriebes der

Starkstromanlage gegen Erde eine Spannungsdifferenz gleich oder nahezu Null herrscht. Diesbezügliche im elektrotechnischen Laboratorium der k. k. deutschen technischen Hochschule in Prag an Wechselstromkreisen ausgeführte Versuche ergaben sehr befriedigende Resultate. Die telephonische Übertragung war dabei naturgemäss von einem summenden Tone begleitet, allein die Verständigung zwischen den Stationen war nichtsdestoweniger sehr gut möglich.

(Selbstreferat des Vortragenden.)

Oskar von Miller (München), Die Naturkräfte im Dienste der Elektrotechnik.[1])

Als ich vor 11 Jahren anlässlich der elektrischen Ausstellung in Frankfurt a/Main die Ehre hatte, im Kreise der Naturforscher und Ärzte über die Fortschritte der Elektrotechnik zu berichten, befand sich diese in einer Periode des höchsten Aufschwunges.

Unterdessen sind viele der damaligen Hoffnungen erfüllt und neue, zu jener Zeit noch unbekannte Anwendungsformen der Elektrizität gefunden worden.

Mit der mannigfaltigen Verwendung der Elektrizität war jedoch die Aufgabe der Elektrotechnik keineswegs erschöpft; man musste auch die zur Erzeugung des elektrischen Stromes verwendeten Kräfte ökonomischer ausnützen und vor allem danach streben, mit Hilfe der Elektrizität neue Energiequellen unserer Erde, die bisher nur unvollkommen oder gar nicht ausgenützt waren, zum Wohle der Menschheit zu verwerten.

Bei Lösung dieser wichtigen wirtschaftlicheu Aufgaben war die Elektrotechnik durch die mannigfaltigsten wissenschaftlichen Forschungen unterstützt, und ich folge deshalb gerne der freundlichen Aufforderung, über den gegenwärtigen Stand der Elektrotechnik und ihre Beziehungen zu den Naturkräften zu berichten.

Ich unterlasse es, auf die seit 10 Jahren erzielten Verbesserungen der Telephonie und Telegraphie einzugehen, da diese bereits in gründlichster Weise geschildert wurden. — Auch die Erläuterung der Fortschritte auf dem Gebiete der Elektromedizin möchte ich berufeneren Kräften überlassen, denn die neueste Anwendung der elektrischen Lichtstrahlen zu Heilzwecken und insbesondere die noch unaufgeklärten Wirkungen der Teslaströme auf den menschlichen Körper, wobei der elektrische Strom millionenmal in der Sekunde unterbrochen wird, bieten den Physiologen noch manches Rätsel, dessen glückliche Lösung von grösster Bedeutung für die Heilkunde werden kann.

Meinem heutigen Vortrage näher liegend sind schon die Fortschritte auf dem Gebiete der Elektrochemie.

Viele Tausende von Pferdekräften sind bereits in der Elektrometallurgie zur Gewinnung der verschiedenen Metalle, namentlich auch von Aluminium verwendet. Dabei ermöglichen die neueren elektrolytischen Verfahren mittels rotierender Elektroden manche Metalle, wie Kupfer, Zink u. s. w., direkt als Drähte oder Röhren niederzuschlagen, ein Arbeitsverfahren, das in seiner verblüffenden Einfachheit geeignet ist, ein wichtiges Glied unserer Metallindustrie zu werden.

Unter den mannigfachen elektrochemischen Prozessen hat die grösste Ausdehnung in den letzten Jahren die Gewinnung von Carbid erfahren, wofür Wasserkraftanlagen von mehreren Hunderttausend Pferdestärken in Deutschland, Österreich, Norwegen u. s. w. geschaffen wurden. Diese Fabrikation hat allerdings in wirtschaftlicher Hinsicht grosse Enttäuschungen hervorgerufen, doch wurde gerade hierdurch die Wissenschaft und Technik angeregt, für die einmal geschaffenen elektrischen Anlagen neue Verwendungen zu suchen. Erfreulicherweise ist dies auch vielfach gelungen, indem man die frei gewordenen Kräfte zur Herstellung von Siliciumverbindungen, zur Gewinnung von Cyankali, Stahl und dergl., zur Imprägnierung von Holz, zum Schmelzen von Glas u. s. w. benützt. Chemische Fabriken senden ihre Produkte zur weiteren Veredlung z. B. von Frankfurt nach weit entfernt liegenden elektrochemischen Centralen, die mit billigen Wasserkräften betrieben werden, und neuerdings scheint die elektrische Darstellung von Stickstoffverbindungen für landwirtschaftliche Zwecke enorme Kräfte zu beanspruchen, sodass eine nutzbringende Verwertung der mangelhaft ausgenützten Carbidwerke bald zu erhoffen ist.

Die elektrische Heizung hat in jüngster Zeit wegen ihrer grossen Bequemlichkeit zahlreiche Anwendungen im Haushalt, zum Kochen, zum Warmhalten von Speisen, zum Bügeln und dergl. gefunden, und mehrere grosse Fabriken sind ausschliesslich mit der Herstellung derartiger Apparate beschäftigt.

In kleinerem Massstab ist auch der Preis der elektrischen Heizung nirgends so bedeutend, dass sich die Hausfrauen nicht gestatten könnten, ihren Thee oder Kaffee elektrisch zu bereiten, aber selbst im grossen ist die Verwendung der Elektrizität zu Heizzwecken nicht ausgeschlossen, wie dies heute als selbstverständlich allgemein angenommen wird. Eine von mir angestellte Vergleichsrechnung hat z. B. ergeben, dass die Sole im Salzwerk Hall

1) II. Allgemeine Sitzung am 26. Septbr. 1902.

bei Innsbruck auf elektrischem Wege mittels einer 20 Kilometer entfernt gelegenen Wasserkraft billiger als mit den dort erhältlichen Kohlen eingedampft werden kann. Es ist diese Thatsache für die Verwendung von Wasserkräften in kohlenarmen Gegenden von grosser Bedeutung, sie ist aber auch erklärlich, wenn man bedenkt, dass grosse elektrische Heizkörper mit nahezu 100% Wirkungsgrad arbeiten können, während bei den sonst üblichen Feuerungen nur 20 bis 50% der erzeugten Wärme nutzbar gemacht werden.

In der elektrischen Beleuchtungstechnik herrschte in den letzten 10 Jahren hauptsächlich das Bestreben, die Ökonomie der Lichtquellen zu verbessern. Auer von Welsbach, der bekannte Erfinder des Gasglühlichtes, hat auch die Leuchtkraft der elektrischen Glühlampen erhöht, indem er den Kohlenfaden durch das schwer schmelzbare Osmium ersetzte. Während diese Lampe noch im Stadium eines sehr aussichtsvollen Versuches sich befindet, ist die von Professor Nernst erfundene und nach ihm benannte Glühlampe bereits in die Praxis eingeführt.

Bei dieser Lampe wird bekanntlich an Stelle des Kohlenfadens ein aus seltenen Erden gebildetes Stäbchen zum Glühen gebracht, welches für den gleichen Energieaufwand mindestens die doppelte Lichtmenge wie die bisherigen Lampen entwickelt. Der Glühkörper muss, bevor er zum hellen Leuchten gelangt, einige Sekunden durch eine Platinspirale angewärmt werden, eine kleine Unbequemlichkeit, die nach meiner Erfahrung eine weite Verbreitung der Nernstlampen nicht hindert, da ein plötzliches Aufleuchten nur für gewisse Beleuchtungszwecke, z. B. für Schlafzimmer, Treppenhäuser und dergl. nötig ist.

Wie für die Glühlampen, ist auch für die Bogenlampen versucht worden, durch Änderung der leuchtenden Substanz einen höheren Nutzeffekt zu erzielen. Vor allem war es Hugo Bremer gelungen, durch Zusatz von Metallsalzen Kohlenstäbe herzustellen, deren Helligkeit bei gleichem Strombedarf diejenige der bisher üblichen Bogenlampen um das Dreifache überschritt.

Die Versuche, mit einer bestimmten elektrischen Energie immer noch mehr Licht zu erzeugen, sind noch lange nicht abgeschlossen; so scheint z. B. eine neue Lampe mit leuchtenden Quecksilberdämpfen, nach einem von Arons angegebenen Prinzip, eine noch weit ökonomischere Lichtquelle, wenn auch vorläufig von unangenehmer Farbe zu liefern.

Es ist durchaus nicht unwahrscheinlich, dass durch die fortwährende Verbesserung der Leuchtkörper die Elektrizitätswerke in naher Zukunft nicht nur die angenehmste, sondern auch die billigste Beleuchtung liefern werden.

Die elektrischen Bahnen haben während der letzten Jahre in allen grösseren Städten den Strassenverkehr an Stelle der Pferdebahnen übernommen.

Zur Zeit sind aber auch Bestrebungen im Gange, statt der Vollbahnen mit Dampfbetrieb oder wohl besser neben denselben den elektrischen Fernverkehr einzuführen. Bekannt sind ja die Versuche von Siemens u. Halske und der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft zwischen Berlin und Zossen, bei welchen mit elektrischen Wagen eine Geschwindigkeit von 160 km pro Stunde erreicht wurde.

Es war gerade die hohe Geschwindigkeit, die der Allgemeinheit als der wesentlichste Punkt des elektrischen Verkehrs erschien, während es in Wirklichkeit wichtiger ist, dass die elektrischen Fernbahnen mit der grossen Geschwindigkeit am leichtesten die Forderung der absoluten Betriebssicherheit vereinigen lassen, indem z. B. die Stromzuführung streckenweise vor und hinter einem Zuge automatisch unterbrochen und damit ein Zusammenstoss unmöglich gemacht werden kann, oder indem die in engen Kurven bei grosser Geschwindigkeit zu befürchtenden Entgleisungen durch die teilweise Verwendung der elektrischen Schwebebahnen verhindert wird.

In erster Linie wird jedoch der wirtschaftlichere Betrieb der elektrischen Bahnen zu ihrer Verbreitung beitragen. Schon bei unseren heutigen Betriebsverhältnissen bieten sie das billigste Verkehrsmittel, wenn, wie z. B. bei der 100 km langen elektrischen Bahn zwischen Marion und Indianopolis eine Naturgas-Centrale als Betriebskraft zur Verfügung steht, oder wenn, wie in Schweden, Norditalien und der Schweiz, der elektrische Betrieb durch billige Wasserkräfte erfolgen kann, anstatt dass in diesen kohlenarmen Ländern viele Millionen Mark jährlich für Brennmaterial in das Ausland gehen, oder wenn, wie bei Bergbahnen, mit der Energie der herabfahrenden Züge Strom erzeugt, und dieser zum Betrieb der berganfahrenden direkt verwendet wird, wie dies z. B. bei der Brennerbahn, die heute jährlich ca. 1 Million Kronen für Kohlen verausgabt, unter Mitbenutzung der dortigen zahlreichen Wasserkräfte sehr leicht möglich wäre. Der elektrische Betrieb der Fernbahnen ist aber auch bei Anschluss an Dampfcentralen wirtschaftlicher als der jetzige Betrieb mit Lokomotiven, die Wasser und Kohle mitführen müssen, sobald einmal der Verkehr zwischen den grossen Städten ein so dichter geworden ist, dass die Züge in kurzen Intervallen, wie bei Strassenbahnen, einander folgen, wodurch die allerdings

kostspielige elektrische Anlage fast ununterbrochen ausgenützt wird. Von dieser Erwägung ausgehend, werden jetzt schon verschiedene Vorortbahnen elektrisch betrieben. Auch Hauptbahnen, z. B. die North-Eastern-Railway haben sich entschlossen, den elektrischen Betrieb auf einzelnen Linien einzuführen; im italienischen Parlament ist der Bau einer elektrischen Bahn für die ca. 200 km lange Strecke Rom—Neapel genehmigt worden, während ernsthafte Pläne auch für die Linien Berlin—Hamburg, Brüssel—Antwerpen, Wien—Budapest u. s. w. vorliegen.

Um diese Pläne zu verwirklichen, genügt allerdings nicht die Arbeit der Techniker; Hand in Hand mit ihr muss vielmehr diejenige der Verkehrsverwaltungen gehen, die die Vorbedingung für den nötigen dichten Verkehr durch Trennung der Güterbahnen von den Personenbahnen, durch richtigen Anschluss des Lokalverkehrs an den Fernverkehr, durch Genehmigung einfacher und billiger Tarife u. s. w. zu erfüllen haben.

Werden diese Fragen von den betreffenden Behörden wenigstens für die schon jetzt überlasteten Bahnen mit Wohlwollen und weitem Blick erwogen, so können sich in absehbarer Zeit die Hoffnungen verwirklichen, die von der Allgemeinheit an den elektrischen Verkehr geknüpft werden, und es ist nur freudig zu begrüssen, dass z. B. in Schweden für diese neue Verkehrs-Epoche schon jetzt zweimalhunderttausend Pferdekräfte an den staatlichen Flüssen reserviert sind.

Unter all den Fortschritten in den verschiedenen Zweigen der Elektrotechnik war für die Volkswirtschaft die elektrische Verteilung und Übertragung der Kräfte von der weittragendsten Bedeutung.

Während noch vor 10 Jahren auf der Frankfurter Ausstellung die Kraftverteilung mittels Elektromotoren in verschiedenen Musterwerkstätten vorgeführt wurde, um nur einigermassen die Kleingewerbetreibenden mit den Vorteilen dieser Betriebsart bekannt zu machen, sind heute ca. 400000 Elektromotoren in Deutschland in Betrieb, und selbst in den kleinsten Orten mit nur 1000—2000 Einwohnern sind 30—50 Elektromotoren installiert, weil fast jeder Schreiner, Schlosser u. s. w. seine Werkstatt mit dieser einfachsten und bequemsten Kraft betreibt.

Aber nicht nur im Kleingewerbe, auch in den grössten Fabriken hat die elektrische Kraftverteilung als bestes Transmissionsmittel eine allgemeine Anwendung gefunden.

Diesbezüglich möchte ich von vielen nur die mit ca. 2000 Pferdestärken arbeitende Sächsische Maschinenfabrik in Chemnitz, die mit ca. 1000 Pferdestärken betriebene Aschersleben Maschinenfabrik u. s. w. anführen.

Aber nicht die Verteilung, sondern die elektrische Übertragung von Kräften hat im letzten Dezennium die grössten praktischen Erfolge zu verzeichnen, denn sie hat es ermöglicht, dass die Elektrizität, die ja eigentlich nur ein Transmissionsmittel ist, der Welt neue grosse Energiequellen eröffnete.

Es sind jetzt ungefähr 20 Jahre her, seit Marcel Deprez als einer der ersten den damals schon bekannten Grundsatz, dass Kräfte mittels Elektrizität, mit beliebig grossem Nutzeffekt auf beliebig weite Entfernungen, mittels beliebig dünner Drähte, übertragen werden könnten, wenn nur die Spannung des elektrischen Stromes hoch genug gewählt wird, als praktisch durchführbar in der Société des Ingenieurs civiles zu Paris verkündete.

Ich erinnere mich noch, wie diese Erklärung als phantastische Idee, die man in einem technischen Verein als praktisch durchführbar nicht hinstellen sollte, heftige Angriffe hervorrief.

Mich hatte sie damals begeistert, und als ich kurz darauf im Jahre 1882 gemeinsam mit Professor von Beetz die erste deutsche elektrische Ausstellung in München organisierte, bat ich Marcel Deprez, er möchte seine theoretischen Erklärungen und Berechnungen als echter Ingenieur nun in die Praxis übersetzen und von Miesbach nach München eine Kraft auf 57 Kilometer Entfernung mittels eines Telegraphendrahtes übertragen. Der Versuch ist bekanntlich geglückt. Es war ein begeisternder Anblick, als um 11 Uhr nachts in der Ausstellung zum erstenmal durch die so weit entlegene Betriebskraft Wasser gehoben und in einem kleinen Wasserfall die geheimnisvolle Wirkung zur Darstellung gebracht wurde.

Wie bei so vielen grosse Hoffnungen erweckenden Erfindungen folgte diesem Jubel auch die Ernüchterung, indem der Nutzeffekt infolge der geringen Spannung von ca. 1000 Volt ein sehr ungünstiger und die Sicherheit der Übertragung durch die Verwendung einer kleinen Gleichstrommaschine keine vollkommene war. Auch die folgenden Versuche zwischen Creil und Paris, die von Marcel Deprez in genialster Weise mit ungeheuren Mühen und Kosten ins Werk gesetzt waren, hatten, so bedeutungsvoll sie auch für die ganze Frage der Kraftübertragung waren, doch kein vollkommen befriedigendes Resultat. Es fehlten eben noch die Mittel, um mit dem damals allein gebräuchlichen Gleichstrom die Bedingungen zu erfüllen, die eine Kraftübertragung auf weite Entfernung erforderte.

Da kam die Erfindung der Transformatoren, welche mit vollkommener Sicherheit die von den elektrischen Maschinen erzeugten Wechsel-

ströme auf beliebige Spannungen erhöhen und so zur Fortleitung auf weite Entfernung geeignet machen konnten, es kam die technische Durchbildung des von Ferraris erfundenen und für Motorenbetriebe besonders geeigneten Drehstromsystems, es kam die praktische Verwendung des Öls als bestes Isolationsmittel, und so schienen mir die Vorbedingungen gegeben, um während der Frankfurter Ausstellung die Möglichkeit und Zweckmässigkeit der elektrischen Kraftübertragung auf beliebig grosse Entfernungen nachzuweisen.

Mein Plan, eine grosse Kraft von Lauffen, wo ich eben ein Elektrizitätswerk zu errichten hatte, bis Frankfurt auf 180 Kilometer Entfernung zu übertragen, wurde freilich anfangs viel bekämpft und bespöttelt, aber Herr Geheimrat Rathenau und Herr Oberst Huber, die Leiter der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft und der Firma Oerlikon erklärten sich doch bereit, diesen grossen Versuch durchzuführen.

Vom dem glücklichen Gelingen konnte ich in Ihrem Kreise zu Frankfurt im allgemeinen schon berichten.

Die später vorgenommenen Messungen haben ergeben, dass mit 25000 Volt Spannung 200 Pferdestärken mit einem Nutzeffekt von 75 Proz. übertragen wurden, ein unerwartet günstiges Resultat, das in erster Linie den mit der Konstruktion der Maschinen, Transformatoren und Elektromotoren betrauten Ingenieuren Charles Brown und Dolivo von Dobrowolsky zu verdanken ist. Seit dieser Zeit wurde von allen Seiten emsig an der Vervollkommnung aller Einrichtungen gearbeitet, welche zur elektrischen Kraftübertragung auf weite Entfernungen nötig sind.

Es wurden Dynamomaschinen konstruiert, welche Spannungen bis zu 30000 Volt mit absoluter Sicherheit direkt erzeugen können. Die Einzelleistungen der Dynamos wurden bis zu 10000 Pferdestärken erhöht und durch solche Maschinen die mechanische Arbeit mit dem kaum nennenswerten Verlust von 3—4 Proz. in elektrischen Strom verwandelt.

Neben den früher ausschliesslich benützten, aber äusseren Störungen leicht ausgesetzten Freileitungen können nunmehr auch unterirdische Kabel für Ströme bis zu 60000 Volt mit voller Garantie seitens der Fabrikanten verwendet werden, und was dies bedeutet, ist daraus zu ersehen, dass bei dieser Spannung mittels dreier bleistiftdicker Drähte 10000 Pferdestärken mit einem Verlust von nur 15 Proz. auf ca. 300 Kilometer, also weiter wie von Wien nach Budapest, übertragen werden können.

Hand in Hand mit diesen technischen Vervollkommnungen sind nun auch die praktischen Anwendungen der elektrischen Kraftübertragung immer zahlreicher und grösser geworden.

Es war mir vergönnt, im unmittelbaren Anschluss an die Frankfurter Ausstellung die damaligen Versuche sofort in die Praxis zu übertragen. Bei München entstanden die von Kommerzienrat Heilmann begründeten Isarwerke, welche 6000 Pferdestärken in einem besonders errichteten grossen Industrie-Viertel und in etwa 25 Ortschaften verteilen.

Unter der umsichtigen Führung ihres Bürgermeister Peratoner und Weinberger brachten die Städte Bozen und Meran meine Pläne zur Ausführung, die grossen Wasserkräfte der Etsch, bei welchen die Pferdekraft pro Jahr auf kaum 20 Mark zu stehen kommt, im ganzen Thal auf 32 Kilometer Entfernung zu verteilen und damit den Einwohnern Licht und Kraft zu ungeahnt billigem Preise zu verschaffen.

Um von den vielen grossen Kraftübertragungsanlagen, die von den verschiedensten Firmen ausgeführt wurden, nur einige zu nennen, möchte ich z. B. auf das Werk in Tivoli hinweisen, von welchem aus die Stadt Rom mit Licht und Kraft versorgt wird, oder auf die Kraftübertragung von Niagara nach Buffalo oder auf eine Fernleitung in Californien, mit welcher eine Wasserkraft auf 360 Kilometer nach San Francisco übertragen wird.

Im ganzen sind zur Zeit in Deutschland und Österreich Wasserkräfte mit ca. 180000 Pferdestärken verwendet. Für die Schweiz wird die Zahl von Professor Wyssling auf Grund eigener mühsamer Erhebungen zu 160000 Pferdestärken und für Schweden von Professor Arrhenius zu 200000 Pferdestärken angegeben, während Nordamerika Wasserkräfte mit ca. 400000 Pferdestärken für elektrische Betriebe verwendet. Die Gesamtleistung der zur Zeit mit Wasserkraft betriebenen Elektrizitätswerke der Welt ist mit 2 Millionen Pferdestärken sicher nicht zu hoch geschätzt.

Diese Zahlen bedeuten einen grossen Fortschritt für die kurze Spanne Zeit von 10 Jahren, sie verschwinden aber allerdings gegenüber den bis jetzt noch brach liegenden Wasserkräften.

Ganz abgesehen von Ebbe und Flut sollen in Schweden allein nach den Angaben des Professors Arrhenius 2 Millionen Pferdestärken ausnützbar sein, in Frankreich wird die Leistung der Wasserkräfte auf 10 Millionen Pferdestärken angegeben, mindestens die gleiche Leistung wird im Alpengebiet von Deutschland, Österreich, Italien und der Schweiz zu erhalten sein. In Nordamerika repräsentiert der Niagarafall allein eine Leistung von 10 Millionen Pferdestärken. Das sind Kräfte, welche es sicher verlohnen, ihre Verwertung im Interesse des Volkswohles zu unterstützen,

und für die Regierungen der verschiedenen Staaten erwachsen hieraus neue und wichtige Aufgaben.

Nicht allein wird es nötig sein, wie dies ja in manchen Staaten bereits geschieht, über die vorhandenen Wasserkräfte des Landes genaue Aufzeichnungen zu machen, ihre Wassermengen, Gefälle etc. fortgesetzt zu beobachten, sondern es müssen auch die gesetzlichen Vorschriften für Ausnützung derselben einer Revision unterzogen werden.

Sie sollten insbesondere einer raubbauähnlichen Ausnützung der Wasserkräfte durch einzelne Anlagen vorbeugen, indem sie eine unzweckmässige Zerstücklung der Gefälle, eine zu kleine Dimensionierung der Kanalanlagen und dergl., welche die spätere völlige Ausnützung der ganzen verfügbaren Kraft unmöglich machen würden, verhindern.

Durch die elektrische Übertragung sollen jedoch nicht nur aus den Wasserläufen neue Kräfte gewonnen werden, sondern auch minderwertige Kohle, oder Petroleumrückstände, für welche in nächster Nähe des Gewinnungsortes keine Verwendung zu finden ist und deren Transport bis zu einer geeigneten Verwendungsstelle sich nicht verlohnt, können zur elektrischen Kraftübertragung dienen, wie dies z. B. seit einiger Zeit in Oberschlesien der Fall ist und demnächst auch für die englischen Kohlenbezirke zur Anwendung kommen soll.

Auch die von den Hochöfen abziehenden heissen Gichtgase, die bisher, soweit sie nicht direkt zur Winderhitzung und dergl. Verwendung finden konnten, nutzlos in die Lüfte zogen, können nunmehr in tausendpferdigen Gasmotoren, um deren Konstruktion sich insbesondere W. von Oechelhäuser grosse Verdienste erwarb, und die mit Recht die Bewunderung der Düsseldorfer Ausstellungsbesucher erregten, nützliche Arbeit leisten, die durch den elektrischen Strom in entfernten Orten verwertet wird.

Wenn alle diese Naturkräfte mit Hilfe der Elektrizität immer mehr zur Ausnützung gelangen, so werden sie allerdings nicht, wie dies manchmal geglaubt und behauptet wird, die Dampfmaschinen, die gegenwärtig eine Leistung von 60 bis 80 Millionen Pferdestärken repräsentierten, verdrängen, aber sie werden in hohem Masse dazu beitragen, die Erschöpfung unserer Kohlenlager, die heute schon Schächte bis zu 1500 Meter Tiefe erfordern, hinauszuschieben.

Es ist dies von grösster Wichtigkeit, denn wenn auch die Kohle ebensowenig wie das Holz von der Erde ganz verschwinden wird, so wird doch ihre Verwendung allmählich immer kostbarer und in gewissen Gegenden sowie für gewisse Zwecke immer seltener werden, wie dies ja auch beim Holz in manchen einst so waldreichen Ländern der Fall war.

Die jährliche Kohlenproduktion, die zu Beginn des Jahrhunderts kaum nennenswert war, stieg infolge der vielseitigen Verwendung bereits in den sechziger Jahren auf 70 Millionen Tonnen, ein Betrag, der sich in den folgenden 25 Jahren vervierfachte, während wir heute bereits ca. 800 Millionen Tonnen pro Jahr mit einem Produktionswert von 6 Milliarden Mark verbrauchen.

Wird einer derartigen Steigerung des Kohlenbedarfs nicht Einhalt geboten, so werden die Bergwerke nach den Untersuchungen der Geologen in absehbarer Zeit erschöpft; die einen z. B. in Oberschlesien allerdings erst nach 800 bis 1000 Jahren, andere aber z. B. in Centralfrankreich, in England, vielleicht schon nach 200 bis 300 Jahren.

Es ist daher für die weitere Entwicklung unserer Kultur von durchschlagender Bedeutung, wenn wir mit Hilfe der Elektrizität alle Naturkräfte, die Brennstoffe sowohl wie die Wasserfälle, vollkommen ausnützen und dadurch auch unseren Nachkommen die Möglichkeit einer blühenden Industrie erhalten.

In diesen Bestrebungen tritt die Elektrizität nicht in einen Gegensatz zu den übrigen Betriebskräften; es wird nicht, wie viele glauben, auf das Zeitalter des Dampfes ein Zeitalter der Elektrizität kommen, sondern alle die verschiedenen Arten der Gewinnung und Verwertung der Naturkräfte werden vereint dazu beitragen, das Wohl der Menschheit immer mehr und mehr zu fördern.

(Selbstreferat des Vortragenden.)

Max Wien (Aachen), Über die Empfindlichkeit des menschlichen Ohres für Töne verschiedener Höhe.

Es ist allgemein bekannt, dass unser Ohr ebenso wie unser Auge nur für einen bestimmten Bereich von Schwingungszahlen empfindlich ist. Sehr langsame Schallschwingungen und sehr schnelle hören wir gar nicht oder nur sehr unvollkommen.

Wie hängt nun innerhalb des Bereichs der hörbaren Töne die Empfindlichkeit von der Tonhöhe ab? Setzt sie plötzlich ein, bleibt dann innerhalb eines bestimmten Bereiches konstant, um dann plötzlich wieder abzufallen — so würde es eigentlich die Helmholtzsche Resonanztheorie verlangen — oder steigt sie langsam bis zu einem — vielleicht spitzen — Maximum an und fällt dann allmählich wieder ab? Sind innerhalb dieser Grenzen sehr grosse Unterschiede in der Empfindlichkeit? Hört man z. B.

einen Ton von 2000 Schwingungen in der Sekunde 10, 1000 oder eine Million mal so gut, wie einen Ton von 50 Schwingungen?

Beginnen wir zunächst mit der oberen und unteren Grenze der hörbaren Töne. Dass über diese Grenzen gestritten wird, dass man noch nicht einig darüber ist, ob die Hörbarkeit bei 10 oder bei 40 Schwingungen beginnt, beweist, dass keine scharfe Grenze vorhanden sein kann. Ebenso liegt es bei den hohen Tönen: während früher eine Schwingungszahl von 20 bis 30000 als Grenze angenommen wurde[1]), zeigen Versuche mit der neuen Edelmannschen Galtonpfeife, dass wir noch 45000 Schwingungen wahrnehmen können: die Empfindlichkeit nimmt mit der Höhe stark ab, aber die Hörbarkeit geht wohl noch viel weiter, wenn man nur die Intensität genügend zu steigern vermag. Sowohl bei den sehr tiefen wie bei den sehr hohen Tönen ist kein plötzlicher, sondern ein allmählicher Abfall der Empfindlichkeit vorhanden, der sich über mehrere Oktaven hinzieht.

Im folgenden ist als Mass für die Empfindlichkeit stets die Reizschwelle angesehen, d. h. die Empfindlichkeit ist umgekehrt proportional der Tonintensität, welche eine gerade noch merkliche Empfindung im Ohre erzeugt. Die Tonintensität ist definiert als die Energie der Schallbewegung, welche durch ein Quadratcentimeter senkrecht zur Schallrichtung pro Sekunde hindurchtritt. An Stelle dieser Energie kann man natürlich auch die Amplitude oder die Geschwindigkeit eines Luftteilchens oder auch die Druckdifferenzen der Schallbewegung bestimmen, aus denen sich die Energie dann berechnen lässt.

Um die Empfindlichkeit des Ohres für verschiedene Schwingungszahlen festzustellen, könnte man sich etwa folgenden Versuch angestellt denken: das Ohr wird luftdicht abgeschlossen, die Luft in dem abgeschlossenen Raume wird durch einen sich schnell hin und her bewegenden Stempel verdickt und verdünnt. Man verkleinert die Exkursionen der Stempelbewegung, bis man gerade keinen Ton mehr wahrnimmt. Wenn man nun den Stempel beliebig schnell zwischen 10 mal und 50000 mal in der Sekunde hin und her bewegen könnte, so wäre mit einem solchen Apparat die Aufgabe leicht zu lösen. Leider ist solch eine Maschine nicht konstruierbar. In einem bekannten Apparat haben wir aber etwas ähnliches: nämlich im Hörtelephon. Wir drücken dasselbe, um gut hören zu können, unwillkürlich so fest an den Kopf, dass ein annähernd luftdichter Abschluss erfolgt.[2]) Die Bewegung der Platte entspricht der Bewegung des Stempels. Die Exkursionen der Telephonplatte sind in gewissen Grenzen proportional der Stromamplitude, die sich leicht messen lässt. Solange man sich in dem Gebiet unter 500 oder 1000 Schwingungen pro Sekunde bewegt, erhalten wir auch für gleichen Strom annähernd gleiche Exkursionen. Bei höheren Schwingungszahlen bewirken jedoch die Eigentöne der Platte Komplikationen; welchen Einfluss dieselben haben, wird sich sogleich zeigen.

1) R. König, Wied. Ann. **69**, 626, 1899.
2) Rayleigh, Phil. Mag. **38**, 294, 1894.

Telephonempfindlichkeit.

Vorbedingung für die Telephonversuche sind möglichst reine Sinusströme, damit einfache Töne erzeugt werden. Für die tieferen Töne wurden dieselben durch einen Sinusinduktor, für die höheren durch eine Wechselstromsirene erzeugt. Ich kann hierauf nicht näher eingehen, da ich schon mehrfach, speziell vor 2 Jahren auf der Aachener Naturforscherversammlung[1]), darüber berichtet habe.

Tabelle I.

Empfindlichkeit verschiedener Telephone.

N	Bell	Apel	Siemens I	Siemens II	
64	190000	5000	1800	1200	10^{-8} Amp.
128	15000	510	220	150	"
256	1050	40	26	13,5	"
512	150	10	1,7	2,7	"
720	—	—	1,5	0,8	"
1024	18	3,5	3,0	1,35	"
1500	30	2,3	6,0	2,4	"
2030	130	3,5	0,8	3,0	"
2400	—	5,0	2,0	1,0	"
2800	70	—	—	—	"
4000	230	70	50	30	"
8000	2500	170	700	400	"
16000	12000	1000	2200	1700	"

Die Minimalströme, welche für mein Ohr einen eben noch merklichen Ton hervorrufen, sind in der Tabelle I für verschiedene Schwingungszahlen (N) angegeben. Bei allen 4 untersuchten Telephonen ist der Verlauf im grossen Ganzen gleich. Für die tiefen Töne sind die Ströme verhältnismässig stark, dann werden sie schnell schwächer, ein Minimum erreichen sie zwischen $N=700$ und $N=3000$, darauf nehmen sie wieder zu. Die Empfindlichkeit des Ohres ist nach obigem umgekehrt proportional dem Quadrat dieser Ströme.

Es kommen unter den Zahlen für dasselbe Telephon Verhältnisse der Ströme von 1 : 10000 also Verhältnisse der Empfindlichkeit von $10^8 : 1$, vor. Das kann man natürlich nicht graphisch auftragen. In der Fig. 1 habe ich statt dessen die Logarithmen als Ordinaten aufgetragen. Insofern hat dies auch eine innere Berechtigung, als

1) Diese Zeitschrift **2**, 245, 1901.

nach dem Weber-Fechnerschen Gesetz die Empfindung mit dem Logarithmus des Reizes wächst.

Der Verlauf der 3 Kurven — für das Bellsche oooo, das Apelsche +++ und das Siemenssche Telephon II ••• — ist, wie gesagt, im grossen Ganzen gleich, nur die Eigentöne der Platte des betreffenden Telephons machen sich durch mehr oder weniger grosse Höcker geltend. Wenn man eine Linie zieht, die immer unter den Telephonkurven bleibt, so wird auf diese Weise die Wirkung der Eigentöne der Hauptsache nach eliminiert und wir erhalten einen Anhalt für die wirkliche Empfindlichkeit des Ohres. Die ausgezogene Kurve der Fig. 1 stellt diese Empfindlichkeit dar. Die nähere Untersuchung lehrt, dass für tiefere Töne

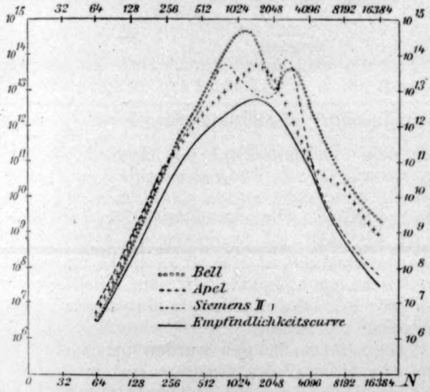


Fig. 1.

bis zu etwa 2000 Schwingungen die Empfindlichkeit ohne allzugrosse Fehler durch die Kurve dargestellt sein dürfte, während der zweite Teil wegen der unbekannten Schwingungsform der Telephonplatte unter dem Einfluss der höheren Eigentöne sehr viel weniger zuverlässig ist.

Obgleich das Ganze nur die rohe Grössenordnung geben kann, so steht doch so viel fest, dass ganz ausserordentlich grosse Unterschiede in der Empfindlichkeit des Ohres für die verschiedenen Töne vorhanden sind, so liegt z. B. die Reizschwelle für den Ton 64 mehr als eine Million mal höher als für den Ton 1500. Diese Unterschiede sind so gross, dass ihre Ursache der Hauptsache nach nicht in dem akustischen Teil des Gehörorgans also etwa in dem stärkern oder schwächern Mitschwingen der Cortischen Membran gesucht werden darf.

Das Maximum der Empfindlichkeit liegt zwischen den Tönen 700 und ca. 3000, also in dem Gebiete, wo sich auch die wichtigsten „charakteristischen Töne" der Vokale und Konsonanten unserer Sprache befinden.

Ich würde es nicht gewagt haben, Ihnen diese immerhin auf ziemlich unsicherer Grundlage beruhenden Zahlen und Kurven vorzuführen, wenn nicht eine strengere Methode einen grossen Teil derselben bestätigt hätte.

Normale und kranke Ohren.

Ehe ich jedoch dazu übergehe, möchte ich mit ein paar Worten auf die Verwendung der Telephonmethode zu Gehörprüfungen eingehen.

Hier sind gar keine Bedenken vorhanden: bei ein und demselben Ton ist die Tonamplitude proportional der Plattenamplitude und diese proportional der Stromintensität. Man

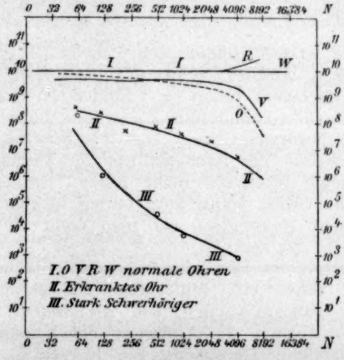


Fig. 2.

kann also direkt die Empfindlichkeit eines normalen und kranken Gehöres miteinander vergleichen, indem man für beide die eben noch hörbaren Stromintensitäten misst.

Die Empfindlichkeitskurven normaler Ohren liegen auffallend nahe beieinander, die Abweichungen übersteigen kaum die Fehlergrenzen. Erst bei höheren Tönen ($N = 8000$) werden sie grösser. Die Tabelle II und die Kurven Fig. 2 (I) giebt die Resultate der Beobachtungen bei 5 Personen verschiedenen Alters 20 (R) bis 56 (F) an. J_w ist der Minimalstrom für mein rechtes Ohr.

Tabelle II.

Empfindlichkeit normaler Ohren.

	J^2/J^2_w	log	J^2/J^2_w	log	J^2/J^2_w	log
$N =$	400		4000		8000	
R	1,0	0	0,8	+ 0,1	0,47	+ 0,33
W	1,0	0	1,0	0	1,0	0
V	5,0	− 0,70	4,0	− 0,6	81	− 1,9
O	1,0	0	3,8	− 0,58	289	− 2,5
F	2,25	− 0,35	4,0	− 0,6	324	− 2,5

Ganz anders verhalten sich erkrankte Ohren. Ich war zufällig in der Lage, selbst an mir

Untersuchungen anstellen zu können, indem ich im vorigen Juni und Juli links an einem akuten Mittelohrkatarrh litt. Die Resultate sind unter *W. l. O.* in der Tabelle III und unter II in der Fig. 2 angegeben. Die Differenzen sind sehr viel grösser und steigen von 25 bei $N = 64$ bis 13225 bei $N = 8000$.

Tabelle III.
2 verschiedene Grade von Taubheit.

$N =$		60	120	200	500	1000	2000	4000	8000
W. l. O.	J^2/J^2_w	25	56	225	121	225	256	1681	13225
	log	1,4	1,6	2,3	2,1	2,3	2,4	3,2	4,1
A	J^2/J^2_w	43	10^4		$1{,}7 \cdot 10^5$	$1{,}7 \cdot 10^6$		$1{,}2 \cdot 10^7$	
	log	1,7	4,0		5,5	6,2		7,1	

Die letzten Reihen der Tabelle III gelten für einen wirklich Schwerhörigen. Hier liegt die Reizschwelle schon ca. 1 Million ($N = 2000$) und sogar 10 Millionen (4000) mal höher als die des normalen Ohres. Den Ton 8000 konnte er auch bei der höchsten mir zur Verfügung stehenden Intensität nicht hören. Immerhin verstand dieser Mann noch lautes Sprechen in der Nähe ganz gut, war also nicht zu den „Tauben" zu rechnen.

Überall ist hervortretend, dass die hohen Töne relativ viel schlechter von erkrankten Ohren gehört werden, wie die tiefen. Ich konnte deutlich die Änderung der Klangfarbe obertonreicher Geräusche wie Klirren u. s. w. erkennen, je nachdem ich sie mit dem rechten oder linken Ohr verfolgte.

Absolute Empfindlichkeit des Ohres.

Helmholtz hat gezeigt, wie man die Schallintensität an irgend einem Orte ausserhalb berechnen kann, wenn man die Luftbewegung an der Mündung einer Pfeife kennt. In ähnlicher Weise lässt sich auch die von einer schwingenden Platte an irgend einem entfernten Orte erzeugte Tonintensität berechnen.

Die Versuche wurden so angestellt, dass das Holzgehäuse eines Bellschen Telephons entfernt wurde, und dafür die Platte mittels eines dicken Messingringes festgeklemmt wurde. Das so eingerichtete Telephon wurde dann auf einem grossen Blech, das in der Mitte ein Loch von der Grösse der Telephonplatte besass, befestigt, und das Ohr der Mitte der Platte gegenüber in einer Entfernung $\varrho = 30$ cm gehalten

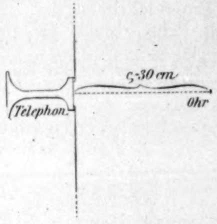


Fig. 3.

(vgl. Fig. 3). Die Amplitude der Telephonplatte für $\frac{1}{100}$ Ampère wurde in dem Bereich von Schwingungszahlen, in dem die Beobachtungen gemacht wurden, mikroskopisch gemessen.

Die Untersuchungen wurden bei Nacht, im grossen Hörsaal des Instituts mit intermittierenden Tönen gemacht und zwar von 2 unabhängigen Beobachtern. Die Resultate sind in der Tabelle IV gegeben. Darin bedeutet N die Schwingungszahl, J den Minimalstrom für die beiden Beobachter W und F, a_0 die Amplitude der Mitte des Telephons, u_ϱ die durch die Be-

Tabelle IV.
Absolute Empfindlichkeit.

N	J Amp.		$\frac{a_0}{J}$	a_0 cm		$\frac{u_\varrho}{a_0}$	u_ϱ cm-sec^{-1}		
	W	F		W	F		W	F	M
200	$5{,}1 \cdot 10^{-3}$	$7{,}0 \cdot 10^{-3}$	0,0029	$1{,}5 \cdot 10^{-5}$	$2{,}0 \cdot 10^{-5}$	12,3	$1{,}9 \cdot 10^{-4}$	$2{,}5 \cdot 10^{-4}$	$2{,}2 \cdot 10^{-4}$
400	$2{,}2 \cdot 10^{-4}$	$1{,}6 \cdot 10^{-4}$	0,0031	$7 \cdot 10^{-7}$	$5{,}1 \cdot 10^{-7}$	40,2	$2{,}8 \cdot 10^{-5}$	$2{,}1 \cdot 10^{-5}$	$2{,}5 \cdot 10^{-5}$
600	$4{,}1 \cdot 10^{-5}$	$8 \cdot 10^{-5}$	0,0034	$1{,}4 \cdot 10^{-7}$	$2{,}8 \cdot 10^{-7}$	85	$1{,}15 \cdot 10^{-5}$	$2{,}3 \cdot 10^{-5}$	$1{,}7 \cdot 10^{-5}$
1050	$2{,}1 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-6}$	0,0053	$1{,}1 \cdot 10^{-8}$	$2{,}2 \cdot 10^{-8}$	257	$2{,}8 \cdot 10^{-6}$	$5{,}6 \cdot 10^{-6}$	$4{,}2 \cdot 10^{-6}$

N	α_ϱ	$\frac{\Delta_p}{p_0}$	ΔE			$\Delta E'$	
			W	F	M	$\mu\mu$ mg	gr-Kal.
200	$1{,}7 \cdot 10^{-7}$	$9 \cdot 10^{-9}$	$7 \cdot 10^{-7}$	$1{,}3 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$	0,25	$6 \cdot 10^{-16}$
400	$1{,}0 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-9}$	$1{,}6 \cdot 10^{-8}$	$9{,}3 \cdot 10^{-9}$	$1{,}3 \cdot 10^{-8}$	$1{,}6 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-18}$
600	$4{,}6 \cdot 10^{-9}$	$7 \cdot 10^{-10}$	$2{,}8 \cdot 10^{-9}$	$1{,}1 \cdot 10^{-8}$	$6{,}6 \cdot 10^{-9}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$1{,}25 \cdot 10^{-18}$
1050	$6{,}3 \cdot 10^{-10}$	$1{,}7 \cdot 10^{-10}$	$1{,}6 \cdot 10^{-10}$	$6{,}5 \cdot 10^{-10}$	$3{,}8 \cdot 10^{-10}$	$1{,}8 \cdot 10^{-5}$	$4{,}2 \cdot 10^{-20}$

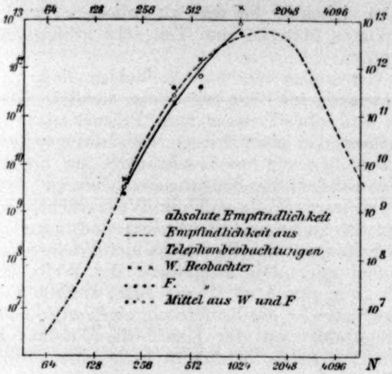


Fig. 4.

wegung der Telephonplatte am Orte ϱ erzeugte Geschwindigkeit der Luftteilchen, a die Amplitude, $\frac{\Delta p}{p_0}$ die Druckamplitude in Atmosphären, ΔE die Energie der Luftbewegung, also die eigentliche Tonintensität, $\Delta E'$ die zur Erzeugung einer Tonempfindung nötige Energie in $\mu\mu$ mg bezw. in gr.-Kalorien, wobei mit Auerbach und v. Pries angenommen ist, dass ein Ton beliebiger Höhe 15 Schwingungen hindurch andauern muss, um die Empfindung zu ihrer vollen Stärke anwachsen zu lassen. (Tabelle IV.)

Die absoluten Werte stimmen der Grössenordnung nach recht gut mit früheren Messungen überein. Rayleigh bestimmte mit Hilfe abklingender Stimmgabeln für

$$N = 200 \qquad \frac{\Delta p}{p_0} = 8{,}5 \cdot 10^{-9}$$

$$N = 384 \qquad \frac{\Delta p}{p_0} = 6 \cdot 10^{-9}$$

$$N = 512 \qquad \frac{\Delta p}{p_0} = 6 \cdot 10^{-9}.$$

Der letzte Wert erscheint gegenüber den meinigen zu hoch. Mittels Helmholtzscher Resonatoren bestimmte ich auf durchaus andere Art in einer früheren Arbeit für

$$N = 440 \qquad \frac{\Delta p}{p_0} = 8 \cdot 10^{-10}.$$

Bei der Messung der absoluten Empfindlichkeit ist natürlich die relative mit gegeben. Wegen der durch die Eigentöne der Telephonplatte verursachten Schwierigkeiten lässt sie sich leider vorläufig nur auf ein verhältnismässig kleines Gebiet ausdehnen. Hier aber passt sie, wie Fig. 4 zeigt, recht gut mit der obigen Telephonempfindlichkeit zusammen.

Der Wert für $N = 200$ ist in beiden Kurven gleich gesetzt. Die Abweichungen sind bei der durchaus verschiedenen Art der Messung sehr gering.

Will man weiter in das Gebiet der höheren Schwingungszahlen bei der absoluten Messung gehen, um vor allem das Maximum der Empfindlichkeit sicher festzustellen, so müsste man Platten oder andere elastische Systeme haben, deren tiefster Eigenton ganz erheblich höher liegt. Vielleicht lässt sich mit dünnen Glasplatten weiterkommen, ähnlich wie sie Edison bei seinem Phonographen verwendet.

Diskussion.

Warburg (Berlin): Wie verhält sich die kleinste Amplitude, die gehört wurde, zum Molekular-Durchmesser?

Wien: Die kleinste Amplitude betrug $6{,}3 \cdot 10^{-10}$ cm.

Warburg: Sie war also viel kleiner als der Molekulardurchmesser.

Wien: Das wäre allerdings auffallend, aber die absoluten Zahlen stimmen mit denen, die von Rayleigh gemessen sind, wie gesagt, sehr gut überein.

Asher (Bern): Habe ich recht verstanden, dass die Empfindlichkeit des Ohres für hohe Töne abhängig ist von der physikalischen Intensität? Wenn das richtig ist, so ist das vollkommen analog mit einer physiologischen Thatsache auf einem anderen Gebiete. Es handelt sich nämlich um die Frage, auf welche Frequenz hin ist der motorische Nerv noch erregbar? Früher glaubten einige Forscher, der Nerv spreche nicht mehr an, wenn die Reizfrequenz 1600 übersteigt. Später hat sich gezeigt, dass man um so höhere Frequenzen anwenden kann, um den Nerv zu erregen, je stärkere Ströme man nimmt. Die Thatsachen, die Herr Wien vorgeführt hat, werden sich also vielleicht auf die Empfindlichkeit des Nervus acusticus zurückführen lassen.

Straubel (Jena): Ein Teil dessen, was ich bemerken wollte, ist durch den Vorredner bereits gesagt worden. — Im besonderen möchte ich gegenüber der Bemerkung des Vortragenden, dass der Verlauf der Empfindlichkeitskurve gegen die Resonanzerklärung von Helmholtz zu sprechen scheine, darauf hinweisen, dass zwischen der Erregung des Cortischen Organs und der Empfindung uns z. Z. unbekannte Prozesse liegen, die auf die Empfindlichkeitskurve von erheblichem Einfluss sein können. — Man könnte ferner daran denken, dass wir uns — darwinistisch gesprochen — für die wichtigsten oder häufigsten Töne ein intensiveres Empfindungsvermögen erworben haben.

Wien: Aber die eventuelle Verbesserung des Hörens durch Resonanz kann nur eine ziemlich nebensächliche Rolle spielen: die Töne in unserem Ohr erreichen nach wenigen Schwingungen ihre volle Stärke, die mitschwingenden Teile sind mithin stark gedämpft.

Die entsprechend wenig entwickelte Resonanz könnte wohl eine 10 bis 100 mal, nicht aber eine 1 Million mal so hohe Empfindlichkeit erklären.

Straubel: Hiernach scheint es mir, dass ich die kurze Bemerkung des Vortragenden über die Erklärung von Helmholtz missverstanden habe. Ich selbst wollte nur auf den möglichen Einfluss physischer und psychischer Zwischenfaktoren auf die Empfindlichkeitskurve hinweisen.

Warburg fragt, wie gross die im Mikroskop gesehenen Amplituden waren, und wie sie gemessen wurden.

Wien: Ein Glasfädchen wurde in der Mitte aufgeklebt und unter das Mikroskop gebracht.

Warburg: Die absolute Grösse dieser Länge, wie war die etwa?

Wien: $\frac{1}{100}$ bis $\frac{1}{500}$ mm.

Sklarek (Berlin): Hat Herr Wien vielleicht auch Erfahrungen gemacht über die Konstanz oder Inkonstanz des Schwellenwertes?

Wien: Es geht mit der Konstanz. Werte von 1:2, 1:4, ja 1:5 in der Intensität kommen ja vor, die Mittelwerte lassen sich jedoch in Anbetracht der sehr grossen Differenzen in der Empfindlichkeit des Ohres für Töne verschiedener Höhe sicher genug feststellen. Die Unterschiede verschiedener Personen sind kaum grösser, als sie auch bei einer und derselben Person vorkommen.

Grunmach (Berlin): Es ist nicht sehr auffällig, dass die Empfindlichkeit für höhere Töne bei verschiedenen Personen verschieden ist, weil ja die Grenze der Hörbarkeit auch sehr verschieden ist. Mit dem Alter geht die Wahrnehmungsfähigkeit für sehr hohe Töne verloren; es ist bekannt, dass ältere Personen z. B. das Zirpen der Insekten, auch wenn es sehr intensiv ist, nicht mehr hören können.

(Eingegangen 25 September 1902.)

R. Straubel (Jena), Zusammenhang zwischen Absorption und Auflösungsvermögen.

Meine erste Mitteilung soll die Frage behandeln: Wie hängt das Auflösungsvermögen eines idealen optischen Instrumentes von der Absorption ab, die in ihm vorhanden ist.

Das Bild eines leuchtenden Punktes ist, wie bekannt, eine Diffraktionserscheinung; die Frage würde also lauten, wie ändert sich das Diffraktionsbild, wenn man die Absorption in dem Instrumente berücksichtigt.

Die Notwendigkeit, die Theorie durch Mitberücksichtigung der Absorption zu erweitern, bedarf keiner besonderen Begründung. Allerdings spielt die Absorption für die dem Auge sichtbare Strahlung meistens keine grosse Rolle, in dem Gebiete der unsichtbaren Strahlung findet sich aber bei dem zu optischen Zwecken benützten Material zum Teil sehr kräftige Absorption.

Wir wollen hier nur die beiden einfachsten und wichtigsten Fälle behandeln, nämlich erstens den Fall eines Prismas, resp. Prismensatzes und zweitens den einer Linse, resp. Linsensystems; auch wollen wir uns beschränken auf die sog. Fraunhofersche Beugungserscheinung.

Im ersten Falle soll die Welle rechteckig[1]) begrenzt angenommen werden, und zwar soll ein Seitenpaar des Rechtecks der Prismenkante parallel sein. Die Amplitude der Welle lässt sich dann durch $e^{\alpha-\beta s}$ darstellen, worin α und β Konstanten, s die Entfernung eines auffallenden Lichtstrahls von der Kante des Prismas bedeutet; β würde in diesem Falle eine positive Grösse sein.

Handelt es sich zweitens um den Fall, dass auf eine Linse, resp. ein Linsensystem mit kreisförmiger, konaxialer Blende eine Kugelwelle fällt, deren Mittelpunkt auf der Achse des Systems liegt, so soll die Amplitude von der Form $e^{\alpha-\beta s^2}$ angenommen werden. Hierin bedeutet s die Entfernung von der optischen Achse und es kann β je nach den Umständen positiv oder negativ sein. Bei einer einfachen Linse wird β positiv oder negativ sein, je nachdem es sich um eine Zerstreuungs- oder eine Sammellinse handelt; bei einer zweifachen achromatischen Sammellinse, je nachdem das Flint- oder das Crownglas wesentlich stärker absorbiert. Übrigens gilt die obige Form für die Amplitude, sobald die Winkel, welche die Lichtstrahlen in der Linse mit der Achse bilden, klein sind; Dicken und Abstände der Linsen bedürfen keiner Beschränkung.

Ich habe ferner das Huyghensche Prinzip in seiner einfachsten Form benutzt und ununtersucht gelassen, ob und wie dieses Rechenschema vom Standpunkte der optischen Theorien aus zu modifizieren wäre. Übrigens bin ich der Meinung, dass bei näherer Untersuchung die Zulässigkeit des Prinzips, abgesehen von kleineren Korrektionen, sich ergeben würde.

Ich beginne nun mit dem mathematisch sehr einfachen Fall eines Prismensatzes und erinnere, um die Wirkung der Absorption zu übersehen, kurz an das Diffraktionsbild bei fehlender Absorption. Bekanntlich ergiebt sich eine maschenförmige Lichtverteilung mit zum Rechteck reziproken Dimensionen. Das Diffraktionsfeld ist (in monochromatischem Lichte) von 2 dunkeln gekreuzten Streifensystemen mit der Intensität Null durchschnitten. Wandern wir in einer der beiden zu den Rechteckseiten parallelen Rich

1) Der Fall, dass bei gleichem Absorptionsverlaufe eine kreisförmige Begrenzung der Welle stattfindet, soll wegen seiner Komplikation hier nicht behandelt werden, derselbe wird sich in der ausführlichen Publikation finden.

tungen, so wird der Abfall der Intensität durch $\frac{\sin^2 \frac{v}{2}}{\left(\frac{v}{2}\right)^2}$ dargestellt, worin v eine, dem Sinus des „Beugungswinkels" proportionale Grösse bedeutet. Wie wird nun dieser typische Verlauf durch die Absorption geändert? In der Richtung der Kante des Prismas wird, wie man leicht sieht, überhaupt nichts verändert; senkrecht zur Kante dagegen ergiebt sich an Stelle der obigen Formel $\frac{Cos\, u - \cos v}{Cos\, u - 1} \cdot \frac{u^2}{u^2 + v^2}$, worin $Cos\, u = \frac{e^{+u} + e^{-u}}{2}$ und u eine für die Absorption theoretisch massgebliche Grösse bedeutet, die dem Extinktionskoeffizienten der Prismensubstanz proportional ist.

Wie man sieht, verschwinden, sobald die Absorption einsetzt, die Nullstellen der Intensität. Die Kurve der (relativen) Intensität hebt sich mit wachsender Absorption und zwar in folgender charakteristischer Weise: die Minima rücken von der Mitte weg, die Maxima auf die Mitte zu, bis die Grenzwerte der Reihe nach und zwar die ersten zuerst durch Zusammenfliessen je zweier verschwinden. Mit wachsender Absorption nähert sich die Intensitätskurve schliesslich mehr und mehr der hyperbolischen, asymptotisch zur Abszissenachse abfallenden Kurve $\frac{u^2}{u^2 + v^2}$.

Es verbreitern sich also infolge des Absorptionseinflusses die Linien. Dies ist ja zu erwarten, denn die Absorption muss in dieser Beziehung ähnlich wie eine Verengerung der Öffnung wirken.

Wie man sieht, muss man den üblichen Begriff des Auflösungsvermögens modifizieren. Da die erste Nullstelle, deren Entfernung von der Bildmitte zur Definition benutzt wird, ebenso wie die andern Nullstellen, nicht mehr vorhanden ist, wäre die nächstliegende Verallgemeinerung, die Entfernung bis zum ersten Maximum zu rechnen. Indessen ergeben sich auch hier noch merkwürdige Konsequenzen, wie die, dass bei wachsender Absorption in dem Moment, wo das erste Minimum verschwindet, das Auflösungsvermögen sich diskontinuierlich ändert. Es wird also nötig sein, das Auflösungsvermögen etwas anders zu definieren.

Ich komme jetzt zu dem zweiten Falle, dem eines centrierten Linsensystems mit einem leuchtenden Punkt auf der Achse. Bezeichnen wir wieder mit v eine der Entfernung eines Punktes des Beugungsbildes von der optischen Achse proportionale Grösse, mit u eine theoretische Absorptionsgrösse, deren Zusammenhang mit Form, Grösse und Absorption der benutzten Materialien hier nicht gegeben werden soll, so kann man — die Intensität des Mittelpunktes gleich 1 gesetzt — die Intensität (L) durch die folgenden Formeln darstellen:

$$L = C^2$$

$$C\left(e^{\frac{u}{2}} - 1\right) = \frac{u}{v} \mathfrak{J}_1(v) + \left(\frac{u}{v}\right)^2 \mathfrak{J}_2(v) + \left(\frac{u}{v}\right)^3 \mathfrak{J}_3(v) + \cdots$$

$$= e^{\frac{u^2 - v^2}{2u}} - \left\{\mathfrak{J}_0 - \frac{v}{u} \mathfrak{J}_1(v) + \left(\frac{v}{u}\right)^2 \mathfrak{J}_2(v) - \cdots\right\}$$

$$= A_0 + A_1 \frac{v^2 - u^2}{2u} + \frac{A_2}{1 \cdot 2}\left(\frac{v^2 - u^2}{2u}\right)^2 + \cdots,$$

$$A_0 = \pm \mathfrak{J}_1(u) + \mathfrak{J}_2(u) \pm \mathfrak{J}_3(u) + \cdots$$

$$A_1 = \quad - \mathfrak{J}_2(u) \mp \mathfrak{J}_3(u) - \cdots$$

$$A_2 = \quad \pm \mathfrak{J}_3(u) + \cdots$$

In diesen Formeln bedeuten $\mathfrak{J}_0(v)$, $\mathfrak{J}_1(v)$, $\mathfrak{J}_2(v)$ — die Besselschen Funktionen 0ter, 1ter, 2ter .... Ordnung für das Argument v; das obere oder untere Vorzeichen in dem letzten System gilt, je nachdem u positiv oder negativ ist. Den ersten Ausdruck wird man zweckmässigerweise benutzen, falls $\left(\frac{u}{v}\right)^2$ hinreichend kleiner als 1 ist, den zweiten, falls es genügend grösser ist und den dritten, falls $\left(\frac{u}{v}\right)^2$ von 1 wenig verschieden ist. Da $\mathfrak{J}$ nicht als eine Summe zweier Quadrate, sondern als ein einziges Quadrat dargestellt wird, haben wir Nullstellen, resp. Ringe der Intensität; das Bild wird also nicht verschwommen, sondern behält seinen markierten Charakter und es kann sich bloss fragen, wie ist dieses Ringsystem modifiziert, rücken die Ringe zur Mitte oder nach aussen, werden sie stärker oder schwächer? — Aus einer numerischen Rechnung, die für u das Intervall -6 bis $+6$ und für v 0 bis 12 umfasste, sieht man folgendes. Bei positivem u, d. h. bei einer am Rande des Linsensystems stärkeren Absorption verschieben sich, wenn man die Absorption von 0 an wachsen lässt, zunächst alle Nullstellen nach aussen. Für die erste gilt dies bis zu ihrem Verschwinden; die zweite dagegen kehrt bei einer gewissen Absorptionsgrösse u ihre Wanderungsrichtung um, legt den ganzen Weg rückwärts zurück und vereinigt sich an ihrem ursprünglichen Platze mit der ersten. Ähnliche Verhältnisse finden sich bei den anderen Ringen.

Die Intensität der Ringe nimmt für positive, wachsende u stark ab, schon bei $u = +3$ sind die Ringe ziemlich schwach.

Wir haben also bei positivem u im wesentlichen Verringerung des Auflösungsvermögens und Verminderung der relativen Intensität der

Diffraktionsringe. Bei negativem u, d. h. in der Mitte des Linsensystems stärkerer Absorption, haben wir die entgegengesetzten Erscheinungen, nämlich eine Steigerung des Auflösungsvermögens, dafür aber auch eine Erhöhung der relativen Intensität der Ringe. Welcher von beiden Fällen wünschenswerter erscheint, hängt sehr von den speziellen Umständen ab; soll ich ein rein subjektives Urteil abgeben, so würde ich bei gleichem Abfall der Intensität zwischen Mitte und Rand den ersteren Fall vorziehen, bei dem also zwar das Auflösungsvermögen vermindert, alles in allem aber die höhere Lichtkonzentration vorhanden ist.

Diskussion.

Pringsheim (Berlin): Der erste Fall des absorbierenden Prismas kann wohl eine Rolle spielen bei der anomalen Dispersion. Ames hat darauf aufmerksam gemacht, dass die anomale Dispersion beeinflusst sein könnte durch die Eigenschaft des Prismas, die Wellen an verschiedenen Stellen sehr verschieden durchzulassen. Wood hat versucht, diese Frage mit einem Russprisma experimentell zu lösen; es ist ihm aber nicht gelungen. Glauben Sie, dass in einem Prisma bloss durch die verschiedene Absorption eine anomale Dispersion vorgetäuscht werden könnte?

Straubel: Nein; es tritt wie sich auch beobachten lässt, nur eine Verbreiterung der Linien ein. Der Charakter des Bildes ändert sich — und zwar hängt das nur von dem Abfall der Intensität nach den Seiten ab —, die Mitte des Bildes aber bleibt.

Pringsheim: Bei diesen Bestimmungen handelt es sich um sehr kleine Verschiebungen; man stellt dabei auf den Schwerpunkt der Linie ein, und es wäre doch möglich, dass der Schwerpunkt sich etwas verschiebt.

Straubel: Bei ungenauer Fokussierung würde dies allerdings stattfinden, bei genauer aber nicht. Das Fraunhofersche Diffraktionsbild bleibt nämlich vollkommen symmetrisch, trotz der Unsymmetrie, die in der Absorption liegt.

M. Wien (Aachen), Demonstration eines mechanischen Modelles zu der Braunschen Methode der Telegraphie ohne Draht.

Die Verbesserung, welche Braun in die Telegraphie ohne Draht eingeführt hat, besteht wesentlich in folgendem:

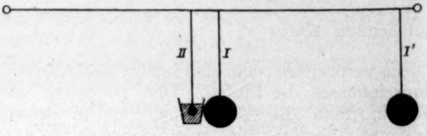
Das Marconische und früher von Slaby und Arco angewandte Sendersystem bestand in einem einfachen vertikalen, durch eine Funkenstrecke mit der Erde verbundenen Drahte (Mast). Die Energie des Systems ist vollständig durch die Kapazität des Mastes und das Entladungspotential der Funkenstrecke gegeben. Über ca. 1 cm lang darf man die Funkenstrecke nicht machen, da dann die Funken nicht mehr „wirksam" sind. Wegen der starken Ausstrahlung sind die Schwingungen stark gedämpft.

Braun hat nun dieses System mit einem primären gekoppelt. Dasselbe besteht aus einer Batterie Leydner Flaschen und einer Induktionsrolle von wenig Windungen. Die Schwingungszahl des Systems ist mit der des Mastes in Übereinstimmung.

Das primäre System ist „geschlossen" und daher wenig gedämpft; es besitzt, da seine Kapazität bei gleichem Funkenpotential viel grösser ist, eine grosse Energie.

Diese Energie kann nun — bei enger Koppelung — plötzlich auf das sekundäre System, den Mast, übertragen werden, so dass derselbe sehr kräftige aber stark gedämpfte Schwingungen aussendet, oder — bei loser Koppelung — allmählich, gewissermassen löffelweise, auf den Mast übergehen, so dass die von diesem ausgesandten Wellen zwar schwächer sind, aber dafür, wenig gedämpft, längere Zeit andauern.

An zwei „sympathischen" an einem horizontalen Draht aufgehängten kurzen Pendeln kann man das Prinzip leicht demonstrieren (vgl. Fig.).



Das eine Pendel (I) besitzt eine grosse Masse und schwingt in der Luft, ist also wenig gedämpft. Das andere (II) besitzt eine kleinere Masse und ist, da es im Wasser oder Öl schwingt, stark gedämpft: es entspricht dem sekundären System (dem Mast) der Braunschen Anordnung. Regt man das System I bei enger Koppelung — die beiden Pendel sind dicht bei einander aufgehängt — schwach an, so sehen Sie, dass das zweite Pendel in heftige Schwingungen gerät. Beide Pendel kommen jedoch bald zur Ruhe, da die Energie schnell durch die Reibung in der Flüssigkeit aufgezehrt wird.

Bringt man das Pendel I in die Stellung I', so hat man lose Koppelung: das Pendel II macht geringere, aber länger andauernde Schwingungen.

Braun hat zwei Methoden der Koppelung angegeben: die „direkte" und die „indirekte" oder elektromagnetische. Das Modell von

Siemens & Halske, was Sie unten gesehen haben, beruht auf der letzteren. Das Slabysche System, wovon ebenfalls ein Modell unten aufgestellt war, entspricht genau der Braunschen „direkten“ Koppelung. Slaby ist von dem einfachen zu dem gekoppelten Sender erst übergegangen, nachdem Braun seine Methoden veröffentlicht hatte. Ob er diese Veröffentlichungen gekannt hat, bezw. inwieweit er durch dieselben beeinflusst wurde, kann man natürlich nicht wissen. Hingegen ist Slaby die Einführung des sogenannten Multiplikators zu verdanken, wodurch der gleiche Mast für verschiedene Wellenlängen benutzt werden kann.

Bisher scheinen nur Sender mit enger Koppelung verwandt worden zu sein, um starke Schwingungen zu erzielen und so auf weite Entfernungen hin telegraphieren zu können. Eine scharfe Resonanzwirkung ist dabei wegen der starken Dämpfung ausgeschlossen. Vielleicht gelingt es noch einmal praktisch brauchbare, lose gekoppelte Systeme zu konstruieren, die eine Verwendung der Resonanz und damit die mehrfache Telegraphie ermöglichen.

Diskussion:

Voller (Hamburg): Slaby hat mir schon vor einigen Monaten geschrieben, mit Tietz sei er schon im Jahre 1898 auf die Sache gekommen, er wolle das auch in den Annalen der Physik publizieren.

Wien: Ich habe diese Notiz auch in der elektrotechnischen Zeitschrift gelesen, wo sie im Anschluss an die sogenannten „Wissenschaftlichen Grundlagen der Funkentelegraphie“ von Slaby steht. Ich kann derselben jedoch keinerlei Bedeutung beimessen.

Simon (Göttingen): Aus der Schilderung Slabys in dieser Abhandlung geht hervor, dass Tietz bessere Wirkungen dadurch erhielt, dass er in einer durchaus zufälligen Weise der Funkenstrecke des alten Sendedrahtes parallel eine Kapazität anlegte, dass aber Slaby bei der Wiederholung dieses Versuches an seinen eigenen Apparaten diese Wirkung nicht wiederfinden konnte. Weder er noch Tietz also haben den Witz der Sache erkannt, wenn und trotzdem sie die Sache auch unter Händen hatten. Ich kann mir nicht denken, dass Slaby hieraus eine Priorität gegen Braun ableiten will, sondern könnte mit dem besten Willen nur das Gegenteil herauslesen.

Abraham (Göttingen): Ich verstehe den ganzen Streit nicht. Die Resonanz haben Hertz und Bjerknes gefunden, und dass sie bei grösseren Systemen auch da ist, ist doch wirklich nicht wunderbar.

Simon: Darum dreht sich der Streit ja garnicht. Dass die theoretischen Grundlagen weitgehend vorhanden waren, ehe jemand an drahtlose Telegraphie dachte, bestreitet niemand. Sie aber mit vollem wissenschaftlichen Bewusstsein auf das praktische Problem angewendet zu haben, das Verdienst wird Braun niemand weder gegen Marconi noch gegen Slaby streitig machen können. Er hat der unsicher tastenden Experimentiermethode Marconis und Slabys das zielbewusste Vorgehen echter Wissenschaftlichkeit entgegengestellt. Der so gewonnene prinzipiell neue Fortschritt ist sein Geber, die elektrische Analogie zu der auf einem Resonanzkasten befestigten Stimmgabel.

Man kann das anerkennen, ohne deshalb die unvergänglichen Verdienste Marconis in der ganzen Frage und ohne die wertvolle Pionierarbeit Slabys herabzusetzen.

Voller: Wenn Schiffe mit verschiedenen Masthöhen vorhanden sind, so muss der Apparat eingestellt werden können auf variable Wellenlängen, und das geht vielleicht besser bei der elektromagnetischen Koppelung.

Warburg (Berlin): Ist es überhaupt wichtig, dass das primäre System an die Erde angelegt wird? Mir ist gesagt worden, das sei wichtig, und zwar im Zusammenhang mit der Theorie des Herrn Lecher.

Wien: Mir sagte Braun im vorigen Jahre in Helgoland, er brauchte gar keine Erdung. Ob es mit Erdung nicht doch besser geht, muss die Praxis erweisen. Theoretisch kann man es vorläufig noch nicht recht anfassen.

Voller: Thatsächlich verwendet Braun jetzt in einzelnen Fällen Erdung, in der Regel aber nicht.

Kaufmann (Göttingen): Die Erdung hat jedenfalls noch einen anderen Grund. Ein solcher an der Küste stehender Mast ist doch ein Blitzableiter, und ein Blitzableiter ohne Erdung wäre doch eine Gefahr für die Apparate.

Voller: Dafür sind besondere Schaltungen vorgesehen, und bei Gefahr wird abgeschaltet.

v. Geitler (Prag): Ich glaube, wenn man Erdleitung anlegt, so wirkt die Erde wie eine unendlich grosse Kapazität. Die Wirkung einer solchen auf die Schwingungsdauer des Systems lässt sich, wie die Theorie ergiebt[1]), so darstellen, dass man sich das System an der Kapazität gespiegelt denkt. Die Schwingungsdauer des Systems plus unendlich grosser Kapazität ist dieselbe wie diejenige eines Erregers, welcher aus dem ursprünglichen System und seinem Spiegelbild gebildet wäre. Die Schwingungsdauer wird also durch Erdung vergrössert. Vielleicht liegt darin die Wirksamkeit der Erdleitung. Hiernach dürfte auch die Selbstinduktion des erdenden Drahtes von Einfluss sein.

v. Oettingen (Leipzig): Dass in der Erd-

1) Vergl. Wied. Ann. **55**, 521, 1895.

leitung das Spiegelbild der Entladung vor sich geht, habe ich experimentell gezeigt (Wied. Ann. 34) in meiner Arbeit über Interferenz oszillatorischer Entladungen. Indes trifft die Benennung „Spiegelbild" insofern nicht zu, als die Strömung stets das entgegengesetzte Zeichen hat von der Bewegung, die einer Spiegelung entspräche.

Abraham: Selbstverständlich wird durch Erdung die Schwingungsdauer geändert. Der einfachste Fall ist ein einfacher Sendedraht, dessen Wellenlänge wird dadurch verdoppelt. Ich glaube, darum dreht sich der Streit nicht, sondern darum, ob man statt der Erde mit gleichem Erfolge eine andere Kapazität nehmen kann. Nach der Auffassung von Lecher wird durch die Erdung bedingt, dass die Wellen sich nur längs der Erde ausbreiten. Nach einer anderen Auffassung gehen die Wellen nach allen Seiten in den Raum hinaus, allerdings senkrecht zum Sendedraht besonders intensiv. Es wäre wünschenswert, dass Versuche darüber angestellt würden, wie die Kräfte mit wachsender Entfernung abnehmen. Dann könnte man zwischen den beiden Auffassungen entscheiden.

Simon: Braun macht ausdrücklich darauf aufmerksam, es sei bei seinem System dringend notwendig, dass Symmetrie bestehe. Auf der einen Seite der Kapazität hat er seinen Sendedraht; dann muss auf der anderen Seite ein analoger Draht vorhanden sein, oder er muss dort an Erde gehen; in diesem Falle wirkt die Erdung m. E. ebenso als Spiegel, wie v. Geitler ihre Wirkung beim einfachen Marconischen Sendedraht auffasst.

Diese Spiegelung kann aber ebensogut in einer anderen genügend grossen Kapazität vor sich gehen, wie in der Erde. Darum verwendet Braun, soviel ich weiss, eine Zinkplatte. Er erreicht beim Empfänger damit zugleich denselben Vorteil, den Slaby durch seinen am Erdungspunkte des Empfangsdrahtes angelegten zweiten Viertelwellendraht gewinnt, nämlich eine leicht zugängliche und von atmosphärischen Störungen freie Stelle höchster Spannungsamplitude, an die der Kohärer angeschlossen wird.

M. Grübler (Dresden), **Zur Festigkeit spröder Körper.**[1])

Die Ergebnisse der Fundamentalversuche zur Ermittlung der Zugfestigkeit spröder Körper zeigen keine genügende Übereinstimmung. Die Erklärung dieser Thatsache kann nicht allein in der Heterogenität und dem Anisotropismus des Materials der Versuchskörper gesucht werden, sondern ist nach Ansicht des Vortragenden wesentlich darauf zurückzuführen, dass die Theorie des Deformationsvorganges der beim Versuch thatsächlich stattfindenden Deformation nicht genügend entspricht. Einen von diesem Mangel freien Versuch, nämlich die Deformation eines Kreishohlcylinders durch einen gleichmässig verteilten Innendruck, hat der Vortragende ausgeführt. Die Theorie desselben wurde von Lamé entwickelt; sie führt unter der Voraussetzung homogenen isotropen Materials und der Zugrundelegung des Hookeschen Gesetzes zu dem Resultat, dass die grösste Spannung die Ringspannung an der inneren Begrenzungsfläche des Hohlcylinders ist, für welche Lamé den Ausdruck

$$\sigma_1 = \frac{1 - 2\mu + (1+\mu)\left(\frac{r_2}{r_1}\right)^2}{\left(\frac{r_2}{r_1}\right)^2 - 1} \cdot p_1$$

ableitet. Hierin ist r_1 der innere, r_2 der äussere Radius, p_1 der Innendruck und μ das Verhältnis der Querkontraktion zur Längsdilatation. Ist die Spannung der Dehnung bis zur Bruchgrenze proportional, so würde die Zugfestigkeit $K_2 = max\,(\sigma_1)$ werden und aus vorstehender Formel berechnet werden können, wenn darin für p_1 der Druck gesetzt wird, bei dem das Zerspringen des Hohlcylinders eintritt.

Der zu dem Versuch dienende Apparat besteht in der Hauptsache aus zwei Platten, zwischen denen der Hohlcylinder derart liegt, dass er achsialen Beanspruchungen nicht ausgesetzt ist. Der im Cylinderhohlraum durch eine Flüssigkeit erzeugte Druck wird durch ein Manometer gemessen. Als Versuchskörper dienten 10 Hohlcylinder aus Cementmörtel von $r_1 = 10$ cm innerem, und $r_1 = 15$, bezw. $= 20$ cm äusserem Radius und 10 cm Höhe. Die Versuchsergebnisse stimmten unter Berücksichtigung der ungleichmässigen Beschaffenheit der Versuchskörper befriedigend überein. Biegungsversuche an Prismen, sowie Rotationsversuche an Scheiben aus dem gleichen Material ergaben nahezu die gleichen Festigkeitsziffern; doch sind für einen zuverlässigen Vergleich weitere Versuche an einem möglichst gleichartigen Material nötig.

Mit den Versuchen wurden auf Messungen der Längenzunahme $\varDelta U_2$ des äusseren Cylinderumfanges $U_2 = 2\pi r_2$ mittels eines für diesen Zweck konstruierten, sehr empfindlichen Apparates verbunden. Lamé fand

$$\varDelta U_2 = \frac{2\,U_2\,r_1}{E(r_2^2 - r_1^2)} \cdot p_1,$$

worin E der Elastizitätsmodul des Materials ist. Versuche an Hohlcylindern aus Cementmörtel ergaben E nahezu unveränderlich, während bei Sandstein E mit wachsendem p_1 abnahm.

(Eingegangen 8. Oktober 1902.)

(Selbstreferat des Vortragenden.)

---

1) Abteilung 3, am 23. September.

J. Billitzer, Bericht über die Sitzungen der Abteilung 4 (Chemie, einschl. Elektrochemie).

Von den Vorträgen, die in der Abteilung für Chemie gehalten wurden, sind folgende für Physiker von Interesse.

v. Haslinger (Prag): Über künstliche Diamanten. Das natürliche Vorkommen von Diamanten in bituminösen Schichten lässt darauf schliessen, dass gelöster Kohlenstoff beim Erkalten der geschmolzenen Massen auskrystallisiert ist. Diesen Prozess nachzuahmen, setzt Vortr. einer Schmelze der Zusammensetzung:

SiO_2	40,3 Proz.
Al_2O_3	9,45 „
K_2O	0,90 „
Na_2O	4,93 „
Fe_2O_3	7,30 „
MgO	21,10 „
CaO	3,48 „

1—2 Proz. Kohlenstoff zu. Das Thermitverfahren liefert beim Aufschliessen der erkalteten Masse einen feinpulverigen Rückstand von kleinen Oktaëderkrystallen, der nur aus Spinell oder Diamant bestehen kann, seine Fähigkeit, Rubin zu ritzen, sein Lichtbrechungsvermögen, sowie seine Fähigkeit, ohne Rückstände zu verbrennen, sprechen jedoch dafür, dass wir es mit Diamanten zu thun haben, die zwar wasserhell sind, jedoch nur die Grösse von 0,05 mm erreichen.

Pribram (Czernowitz): Über ein neues Element. Dem Vortragenden ist es gelungen, aus dem Minerale Orthit ein neues Element, das Austrium, zu isolieren, dessen Spektrum von Exner und Haschek untersucht worden ist. Als Metall abgeschieden stellt es glänzende, braune Krystallblättchen dar, dem Elemente kommt das Atomgewicht 170—175 zu, es dürfte also die Lücke zwischen Thallium und Indium ausfüllen.

H. Goldschmidt (Christiania): Über Katalyse. Es giebt viele chemische Reaktionen, in denen zugesetztes Salz (z. B. $SnCl_4$, $AlCl_3$, $FeCl_3$) als Katalysator wirkt. Die Beschleunigung ist der Konzentration des zugesetzten Körpers proportional, im übrigen von der Natur des Körpers abhängig. Vortr. vermutete, dass diese Katalyse einer Bildung von Zwischenprodukten zuzuschreiben sei und suchte dieser Frage in einem Falle näher zu treten.

Es hat sich gezeigt, dass Natron bei der Reduktion von Nitrobenzol durch Schwefelwasserstoff in der oben beschriebenen Weise als Katalysator wirkt. Verläuft die Reaktion direkt zwischen Schwefelwasserstoff und Nitrobenzol, während der Katalysator durch seine blosse Gegenwart wirkt, so muss sich die Reaktion der Gleichung:

$$V = K \cdot C_{Nitrobenzol}\, C^{n}_{SH_2} \cdot C_{SH}'$$

unterordnen.

Andererseits kann aber der Katalysator durch Vermehrung der Ionenzahl wirken, indem statt der wenig dissoziierten SH_2, stark dissoziirter $NaSH$ vorhanden ist. Die Reaktion wird dann dargestellt durch:

$$XC_6H_5NO_2 + 6NaSH = XC_6H\,NH_2 + SH_2O$$
$$3Na_2S_2 + 3H_2S = 6NaSH + 3S$$

u. s. w.

Die Bildung der $NaSH$ findet mit überaus grosser Geschwindigkeit statt und der Reaktionsverlauf muss der Gleichung:

$$V = C_{Nitrobenzol}\, C_{SH}'$$

folgen.

Entspricht die Reaktion dem ersten Schema, so muss Verdoppelung der Schwefelwasserstoff-Konzentration auch die Geschwindigkeit verdoppeln, im zweiten Falle wird die Änderung der Konzentration kaum von Einfluss sein, das sie eine Zwischenreaktion beeinflusst, die auf jeden Fall noch mit überaus grosser Geschwindigkeit sich abspielt.

Das Experiment hat nun ergeben, dass die Reaktionsgeschwindigkeit in der That von der Konzentration des Schwefelwasserstoffes soviel wie unabhängig ist und damit ist es in einem Falle gelungen, durch rein physikalisch-chemische Betrachtungen die Abspielung von Zwischenstationen zu konstatieren.

van't Hoff (Charlottenburg): Über die künstliche Darstellung von Kaliumborit. Nach seiner bekannten Methode hat der Vortragende die Bedingungen studiert, unter denen bestimmte Doppelsalze ausfallen und es gelingt ihm, nach denselben Prinzipien auch Minerale, die in der Natur sich bilden, aus bestimmt zusammengesetzten Lösungen bei bestimmter Temperatur auskrystallisieren zu lassen.

Ladenburg (Breslau): Über Ozon. Der Vortragende hat das Molekulargewicht des Ozons auf zwei Wegen neu bestimmt. Erstlich durch fraktionierte Destillation aus flüssiger Luft, indem er den Ozongehalt jodometrisch bestimmt, zweitens indem er einen Ballon mit ozonisierter Luft füllt, wägt, sodann unter Terpentinöl bekannten spez. Gewichtes öffnet und nochmals wägt. Im Mittel erhält man: Molekulargew. O_3 : 47,8 (theor. 48,0). Ferner beschreibt er die Bedingungen, welche für die Bildung des Ozons günstig sind.

In der Dikussion erwähnt Nernst, dass die Begünstigung der Ozonbildung bei bestimmter Stromstärke wohl daher rühre, dass das Induktorium bei dieser Stromstärke eben am besten arbeite.

Wagner (Leipzig): Zur Isomerie der Cyanverbindungen. Bekanntlich bilden sich bei der Einwirkung von Jodalkylen auf Metallcyaniden zuweilen Nitrite, in anderen Fällen aber Isonitrate. Aus der Entstehung dieser verschiedenen Produkte ist schon mehrmals auf

die Verschiedenheit des verwendeten Salzes zurückgeschlossen worden. Vortr. ist es gelungen, die Existenz derselben nachzuweisen: dem gewöhnlichen, reinweissen monomolekularen Silbercyanid entspricht ein $AgAg(Cn)_2$, das etwas gefärbt und lichtempfindlicher ist. Ihm entsprechen Ester der Cyanwasserstoffsäure der Form $C_2H_5Ag(Cn)_2$. Nach der Siedepunktsmethode gelang es gleichfalls, beide Salze zu unterscheiden: das erste besitzt das Molekulargewicht 134, das zweite etwa 268. Das monomolekulare Salz ist etwas löslicher, immerhin schwerer löslich wie $AgCl$. Die Verschiedenheit der Salze ist demnach nachgewiesen und es ist wahrscheinlich gemacht worden, dass die bimolekulare Verbindung ein Salz der Silbercyanwasserstoffsäure $Ag(CN)_2H$ vorstellt.

Analoge Verschiedenheiten können bei anderen Salzen auftreten, so z. B. beim Quecksilberchlorid $HgCl_2$ neben $HgHgCl_4$, welch letzteres ein Salz der Säure H_2HgCl_4 vorstellt etc.

Panzer (Wien): **Über den Einfluss des Lichtes auf die Oxydation von Arsen an feuchter Luft.** Der Vortragende hat beobachtet, dass Arsenspiegel, die bei der Bestimmung von Arsen im Marshschen Apparate gebildet werden, unter dem Einflusse des Sonnenlichtes an der Luft mit Hinterlassung eines ganz schwachen weissen Belages nach wenigen Tagen verschwinden.

Genauere Untersuchungen haben gezeigt, dass der Spiegel im Dunkeln sowohl wie in einer Wasserstoffatmosphäre noch nach Monaten erhalten blieb und dass er ebenso in völlig wasserfreier Luft (durch P_2O_5 getrocknet) nicht verschwindet. Wir haben daher hier einen neuen Fall einer langsamen Oxydation, die durch Licht und Feuchtigkeit ausserordentlich beschleunigt wird.

R. Wegscheider (Wien): **Über die Veresterung unsymmetrischer Dicarbonsäuren.** Die Untersuchung der Veresterung unsymmetrischer Dicarbonsäuren hat ergeben, dass der Einfluss der Konstitution auf die Veresterung nicht allgemein mit der Stärke der Carboxyle in Zusammenhang gebracht werden kann. Wohl aber tritt ein solcher Zusammenhang bei bestimmten Darstellungsmethoden von Estern und zwar bei der Einwirkung von Alkyljodiden auf saure Salze und von Alkoholen auf Säureanhydride auf. Es ist daher die Annahme einzuschränken, dass bei jedem Reaktionstypus nur eine bestimmte Eigenschaft der Substituenten massgebend ist, vielmehr superponieren sich die negativierende und die sterische Wirkung und ausserdem sind noch andere Konstitutionseinflüsse zu berücksichtigen.

R. Wegscheider (Wien): **Über die Veresterung von Sulfonsäuren und Sulfocarbonsäuren.** An der Sulfogruppe ist die Veresterungsgeschwindigkeit mit Alkoholen und HCl gegenüber der Verseifungsgeschwindigkeit sehr klein. Die Verseifungsgeschwindigkeit durch Wasser ist bei Sulfonsäureestern viel grösser als bei vergleichbaren Carbonsäureestern: Wasserstoffionen wirken nicht als Katalysatoren. Sulfonsäureester werden durch Alkohole rasch verseift. Demgemäss erhält man aus Sulfocarbonsäuren bei Gegenwart von Alkoholen jene Estersäure, in der das Carboxyl verestert ist, die gleiche Estersäure entsteht aus den Neutralestern durch Wasser oder Alkohol.

Neubauer (Basel): **Über das Verhalten ungesättigter Verbindungen gegen Osmiumtetroxyd.** Osmiumtetroxyd, ein wasserhelles Salz, schwärzt sich sofort bei der Gegenwart ungesättigter Verbindungen. Da es, wie Vortr. ferner in Gemeinschaft mit Langstein gefunden hat, nur sehr träge oder gar nicht auf reduzierende Körper (z. B. Aldehyd, Ameisensäure u. s. w.) einwirkt, haben wir ein wertvolles Reagens auf Doppelbindungen damit gewonnen.

Für die Redaktion verantwortlich Professor Dr. H. Th. Simon in Göttingen. – Verlag von S. Hirzel in Leipzig.
Druck von August Pries in Leipzig.